

16. ULUSAL AKUSTİK KONGRESİ VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI

İşleyen Sesler:

“Mesleki Gürültü, Ses Yüğü ve Sürdürülebilir İşitsel Peyzaj Üzerine”

Editör: Sezin NAS

EĞİTİM
yayınevi

16. ULUSAL AKUSTİK KONGRESİ VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI

İşleyen Sesler: “Mesleki Gürültü, Ses Yüğü ve Sürdürülebilir İşitsel Peyzaj Üzerine”

Editör: Sezin Nas

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Sezin Nas

Kapak Tasarımı: Sezin Nas, Emine Gizem Çapaner, Dilara Kelle

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-385-524-6

1. Baskı, Aralık 2025

Kütüphane Kimlik Kartı

16. ULUSAL AKUSTİK KONGRESİ VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI

İşleyen Sesler: “Mesleki Gürültü, Ses Yüğü ve Sürdürülebilir İşitsel Peyzaj Üzerine”

Editör: Sezin Nas

XIV+293 s., 210x297 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-385-524-6

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mechanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM

yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Egitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
bilgi@kitapmatik.com.tr

EĞİTİM YAYINEVİ
GRUBU

EĞİTİM
yayınevi

SALON
yayıncıları

Kitapmatik
yayıncıları

kitapmatik
İnternetteki kitabınız

EĞİTİM
kitabevi

Sezin NAS

Sezin Nas, 2017 yılında Kadir Has Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'nden lisans derecesiyle mezun olmuştur. 2018 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Proje Yönetimi Tezsiz Yüksek Lisans Programı'nı tamamlamış, ardından 2021 yılında Marmara Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü'nden yüksek lisans derecesini almıştır.

2022 yılı itibariyle Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Programı'nda doktora eğitimine başlamıştır. Yüksek lisans eğitimi süresince kısa süreli olarak sektörde tasarımcı kimliğiyle görev almıştır.

Akademik çalışmalarının yanı sıra, 2019 yılından itibaren Türk Akustik Derneği tarafından düzenlenen eğitim, seminer ve kongrelerde koordinatör olarak aktif rol almaktadır. Türk Akustik Derneği bünyesinde kongre düzenleme kurulunda yer almakta ve bildiriler kitabı editörlüğü görevini üstlenmektedir.

Eylül 2021 – Aralık 2024 tarihleri arasında Işık Üniversitesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmış, Ocak 2025 itibarıyla İstanbul Galata Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak akademik kariyerine devam etmektedir.

Kongre Bilim Kurulu

Prof. Dr. Füsün Demirel

Prof. Dr. Mustafa Emre İlal

Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ

Prof. Dr. Nevzat Özgüven

Prof. Dr. Selma Kurra

Prof. Dr. Sevtap Yılmaz

Prof. Dr. Aslı Özçevik Bilen

Prof. Dr. Feridun Öziş

Doç. Dr. Ayça Şentop Dümen

Doç. Dr. Baki Karaböce

Doç. Dr. Konca Şaher

Doç. Dr. Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu

Doç. Dr. Suat Vergili

Doç. Dr. Osman Taha Şen

Dr. Enver Sadıkoğlu

Dr. Mine Aşçıgil Dinçer

Kongre Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Yücel Demiral

Doç. Dr. Konca Şaher

Doç. Dr. Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu

Doç. Dr. Zühre Sü Gül

Dr. Dilara Kelle

Dr. Mine Aşçıgil Dinçer

Dr. Derya Çakır Aydın

Hakika Sezgin

Sezin Nas

Volkan Dikmen

Seda Kulak Dalkılıç

Emine Gizem Çapaner

Kapak Tasarımı

Sezin Nas

Emine Gizem Çapaner

Dilara Kelle

*Ulusal Akustik Kongresi Türk Akustik Derneği ve Kadir Has Üniversitesi
İş birliği ile düzenlenmiştir.*



TÜRK
AKUSTİK
DERNEĞİ



Destekleyen Kuruluşlar:



FELTOUCH
SUSTAINABLE ACOUSTIC DESIGN

*16. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi'nin gerçekleştirilmesine
katkıda bulunan sponsorlarımıza teşekkür ederiz.*

ÖNSÖZ

Değerli Katılımcılar,

Türk Akustik Derneği olarak, 16. Ulusal Akustik Kongresi’nde sizlerle İstanbul’da, Kadir Has Üniversitesi ev sahipliğinde buluşmanın mutluluğunu yaşıyoruz. 6–7 Kasım 2025 tarihlerinde gerçekleştireceğimiz bu buluşma, yalnızca bir bilimsel paylaşım ortamı değil, aynı zamanda sesin toplumsal, çevresel ve mesleki boyutlarının yeniden düşünülmesi için bir platform sunmaktadır.

Bu yılki temamız “*İşleyen Sesler: Mesleki Gürültü, Ses Yüğü ve Sürdürülebilir İşitsel Peyzaj Üzerine*” başlığını taşımaktadır. Günümüzün çağdaş çalışma ve öğrenme ortamlarında sesin rolü, mekânın işlevselliği kadar belirleyici bir unsur haline gelmiştir. Açık ofislerden sınıflara, sağlık yapılarından üretim alanlarına kadar pek çok farklı bağlamda gürültü ve ses yüğü hem bireysel sağlık hem de toplumsal verimlilik üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Öğretmenler, sağlık çalışanları, çağrı merkezi personeli ve benzeri meslek gruplarında ses temelli iş yüğü, yalnızca bireysel işitme sağlığını değil, aynı zamanda çalışma ortamında mutluluk ve tatmin edici iş koşullarının sağlanmasını da belirleyen kritik bir parametredir.

Kongremiz bu çerçevede, sürdürülebilir akustik çözümlerin yalnızca gürültüyü azaltmak değil, aynı zamanda işitsel refahı, mekânsal eşitliği ve çalışanların iş ortamındaki memnuniyetini gözetken bütüncül yaklaşımlarla mümkün olduğunu vurgulamaktadır. İşitsel peyzaj kavramı da bu yılki tartışmaların merkezinde yer almakta; açık ve yarı açık mekânlarda akustik kalitenin sosyal ve kültürel boyutlarıyla birlikte ele alınmasına katkı sunmaktadır.

16. Ulusal Akustik Kongresi, yapı ve hacim akustiğinden gürültü kontrolüne, iş sağlığından işitsel konfora uzanan geniş bir yelpazede akademisyenleri, tasarımcıları, sağlık ve güvenlik profesyonellerini, politika yapıcılarını ve sektörden temsilcileri ortak bir tartışma zemini etrafında buluşturmaktadır. Özellikle bu yıl düzenlenecek “*Mesleki Gürültü Maruziyeti: Ölçümden Sağlık Etkilerine*” başlıklı panel, alandaki en güncel araştırmaları ve uygulamaları bir araya getirecek; işyerlerinde gürültünün ölçüm standartlarından çalışan sağlığına uzanan çok boyutlu etkilerini disiplinler arası bir bakışla değerlendirecektir.

Kongremiz süresince, paralel olarak düzenlenecek sergi alanında da akustik alanında geliştirilen en yeni malzeme, teknoloji ve çözümlerin katılımcılarla buluşturulması hedeflenmektedir. Böylece bilimsel bilgi ile sektörel yeniliklerin buluştuğu verimli bir ortam yaratılacaktır.

Türk Akustik Derneği adına, katkılarınız ve katılımınız için şimdiden teşekkür ediyor; 16. Ulusal Akustik Kongresi’nin hepimiz için ilham verici, verimli ve geleceğe yön veren bir deneyim olmasını diliyoruz.

Doç. Dr. Konca ŞAHER

Türk Akustik Derneği Başkanı

DESIGNING THE COMFORT AND ACOUSTIC QUALITY IN LIFE AND WORK ENVIRONMENTS: THEORY AND PRACTICE

Sergio LUZZI

University of Florence, Italy

Davetli Konuşmacı

ÖZET

Global comfort design is a holistic approach applied to built and outdoor environments to promote health and well-being. Within this approach and its derived design methods, acoustics is integrated with other physical and perceptual factors such as thermal, visual, and indoor air quality, as well as with social and organizational aspects including safety, security, sustainability, and the usability of spaces and objects.

This lecture highlights the often overlooked or underestimated role of acoustic design in residential and workplace environments, with particular attention to schools, hospitals, and restaurants. A multidisciplinary framework for achieving acoustic comfort as part of the overall quality of buildings is presented. Starting from basic environmental and room acoustics parameters, it is shown how these are combined with other comfort factors into key performance indices.

Recent research projects on the non-auditory effects of noise exposure in uncomfortable environments are discussed, demonstrating links with pathologies such as reduced concentration and cognitive performance, sleep disturbances, stress, and altered social behaviour. Case studies of holistically designed, human-centred buildings are also presented, illustrating how high levels of global comfort indices can inspire architects and engineers, and showing that acoustic comfort is a measurable component of sustainable and pleasant habitats.

SHAPING SOUND: APPROACHES TO ENHANCING INDOOR ACOUSTIC

Maria de Diego-Anton

Universitat Politecnica de Valencia, Spain

Davetli Konuşmacı

ÖZET

This presentation highlights key techniques for enhancing the auditory experience in indoor environments such as workplaces, vehicles, or homes, without the use of headphones. It focuses on three main approaches. First, active noise control, which generates audio signals to cancel or equalize undesired noises. Second, personal acoustic zones, enabling individuals to enjoy distinct audio experiences within the same space. Finally, speech masking systems, which improve comfort and privacy in shared office settings. The masking technique uses one signal to make another, such as speech, less audible or unintelligible. Together, these approaches illustrate how indoor acoustic environments can be actively shaped to meet human needs, enhancing comfort, and the overall listening experience.

EFFECTS OF VEGETATION ON OUR SOUND ENVIRONMENTS: FROM LEAVES TO LANDSCAPES

Jian Kang

UCL Institute for Environmental Design and Engineering, University College London,
United Kingdom

Davetli Konuşmacı

ÖZET

This talk will present the work by the author's research team on vegetation acoustics and its applications, including: vegetation absorption, tree bark absorption, scattering and diffusion of vegetation, leaf vibration, sound through trees, sound transmission through hedges, green roof, sound in forest and green belt, green space morphology and sound (noise and bird) distribution, and subjective evaluation of green space.

MESLEKİ GÜRÜLTÜ MARUZ KALIMI: ÖLÇÜMDEN SAĞLIK ETKİLERİNE

Yücel DEMİRAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Davetli Konuşmacı– Moderatör

ÖZET

Gürültü, birçok iş kolunda çalışanların sağlığını ve iş güvenliğini tehdit eden önemli bir çevresel etkidir. Hem fiziksel hem psikososyal etkileri olan bu risk etmeni, özellikle kronik maruz kalım koşullarında ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen panelde, mesleki gürültü maruz kalımı; ölçüm yöntemleri, işyerinde gürültü kaynaklarının örüntüleri ve sağlık etkileri olmak üzere üç temel boyutta ele alınmıştır. Panelin temel amacı, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında gürültüye karşı etkin önlemlerin geliştirilmesinde disiplinler arası bir anlayışa katkı sunmak olmuştur. Panel süresince gürültü maruz kalım değerlendirilmesinde iş hijyen yöntemleri, ölçüm teknikleri ve standartları hakkında bilgi paylaşılmış, işyeri ortamlarında çalışanların maruz kalım profilleri ile bu profilleri etkileyen faktörler tartışılmış ve gürültüye bağlı meslek hastalıkları ile diğer sağlık sorunları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Kadir Kadiroğulları (İSGÜM – Uzman), “Mesleki Gürültü Maruz Kalımı Ölçümünde Kullanılan Yöntemler ve Standartlar” başlıklı sunumunda, çalışma ortamında gürültü değerlendirilmesine yönelik kullanılan ölçüm yöntemlerini ve bunlara ilişkin ulusal ve uluslararası standartları aktarmıştır. Doğru ölçümün, riskin yönetilmesi ve yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi açısından kritik önemde olduğu vurgulanmıştır. Dr. Özkan Kağan Karadağ, “İşyerinde Gürültü Maruz Kalım Paternleri ve Riskin Belirleyicileri” başlıklı sunumunda, farklı sektörlerde gürültüye maruz kalım örüntülerini iş organizasyonu, vardiya sistemleri ve çalışma süreleri gibi değişkenlerle birlikte değerlendirmiştir. Bu bilgiler, sektöre özel koruyucu yaklaşımların ve stratejilerin oluşturulmasına zemin hazırlayacak veriler olarak sunulmuştur. Dr. Esra Aydın Özgür (Meslek Hastalıkları Uzmanı) ise “Mesleki Gürültünün Sağlık Üzerine Etkileri: İşitme Kayıpları ve Diğer Sağlık Etkileri” başlıklı sunumunda, mesleki gürültüye bağlı gelişen işitme kayıpları başta olmak üzere kulak çınlaması, uyku bozuklukları, psikososyal etkiler ve kardiyovasküler riskler gibi geniş bir yelpazeye yayılan sağlık etkilerini tartışmıştır. Ayrıca tanı, izlem ve mevzuat perspektifinden yaklaşımlar da değerlendirilmiştir.

İşitme kaybı, dünya genelinde bildirilen en yaygın meslek hastalıklarından biri olup büyük oranda önlenabilir niteliktedir. Ancak önleme stratejilerinin etkili olabilmesi için ölçümden tanıya kadar tüm süreçlerin doğru yönetilmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilen bu panel, teknik ölçüm süreçleri ile sağlık etkileri arasındaki bağlantıyı kurarak, çok disiplinli bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymuştur.

İÇİNDEKİLER

İÇ MEKÂN İŞİTSEL PEYZAJ YAKLAŞIMININ MİMARİ SÜREÇ İLE İLİŞKİLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YÖNTEM ÖNERİSİ..... 1

Uğur Beyza Erçakmak Osma, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu

MİMARLIK VE MÜZİK İLE TEDAVİ: PALYATİF BAKIM HASTA ODALARI 14

Feride Zeynep Kırdar, Mehmet Nuri İlgürel

KONUT İÇİ İŞİTSEL PEYZAJ DEĞERLENDİRME ÖLÇEĞİNİN İNGİLİZCEDEN ARAPÇA VE TÜRKÇEYE ÇEVİRİSİ 33

Abdullah Alkan, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu

SESİN ONTOLOJİSİ: İŞİTSEL BİLGİ İÇİN BİR SEMANTİK BİLGİ GRAFİĞİ DENEMESİ 42

Hasan Baran Fırat

KENT EKOSİSTEMLERİNDE İŞİTSEL PEYZAJ EKOLOJİSİ YAKLAŞIMIYLA SES ORTAMIN ANALİZİ VE TASARIMI: BİR ATÖLYE UYGULAMASI..... 51

Gülşen Akın Güler

İŞİTSEL PEYZAJ ÇALIŞMALARI İÇİN DİJİTAL VERİ AĞLARININ KULLANIMI ÜZERİNE BİR DENEME: GOOGLE HARİTA YORUMLARI..... 62

Alara İpek Küçük, Aslı Özçevik Bilen

SANAL GERÇEKLİK ORTAMINDA TAT DENEYİMİ: RENK VE SESİN ROLÜ 77

Mohamed Abderrahmane Mekouar, Mine Aşcıgil Dincer, Derya Çakır Aydın

ONKOLOJİ HASTANESİ BEKLEME ALANLARININ MİMARİ DÜZENLEMELERİNE DAYALI İŞİTSEL PEYZAJ ALGISI DEĞERLENDİRMESİ: BİR PİLOT ÇALIŞMA 87

Enkela Alimadhi

**BAĞ TİPİ ODİTORYUMLARIN AKUSTİK PERFORMANSA DAYALI
BİÇİMLENİŞ PARADİGMALARI 97**

Efe Yıldırım, Aslı Özçevik Bilen

**RESTORANLARDA ARKA PLAN MÜZİĞİ: KONUŞMANIN
ANLAŞILABİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER 109**

İ. Emrehan Çakmakçı, Suat Vergili, Feridun Öziş, Konca Şaher

**TÜRKÇE FONEM ANLAŞILABİLİRLİĞİNDE ENERJİ MASKELEME
VE BİNORAL AYRIŞIM 118**

Kıvanç Kitapcı

**ÇINLAMA SÜRESİ VE FARKLI DİL KULLANIMININ TARİHİ DİNİ
MEKAN ALGISINA ETKİSİ 128**

Zinah Al-Bayyar, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu

**KOLEKTİF ÇALIŞMA ALANLARINDA SES ORTAMI VE KULLANICI
DENEYİMİ 137**

Dilara Kelle, Konca Şaher, Özge Üstündağ Ganiç

**RESTORANLARDA KONUŞMANIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ: HOPARLÖR YERLEŞİM TÜRLERİ VE
HOPARLÖR KALİTELERİNİN ETKİLERİ..... 147**

Aslı Kılınç, Feridun Öziş, Suat Vergili, Konca Şaher

**EMPEDANS TÜPÜ YÖNTEMİYLE DOĞAL VE GEVŞEK YAPILI
MALZEMELERİN ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ 158**

Seda Kulak Dalkılıç, Fatih Yazıcıoğlu

**AKUSTİK LİTERATÜRÜNDE SAÇILMA KATSAYISI ÖLÇÜM VE
DEĞERLENDİRİLMESİ 166**

Salih Okan Ercan, Feridun Öziş, Suat Vergili, Konca Şaher

**SAĞLIK TEKNOLOJİLERİNİN AKUSTİK YÖNÜYLE
İNCELENMESİ..... 174**

Baki Karaböce, Hüseyin Okan Durmuş

**YENİLENMİŞ IEC 61094-2 STANDARDININ SES BASINÇ BİRİMİNİN
ULUSAL STANDARDINA ETKİSİ..... 184**

Enver Sadıkoğlu, Eyüp Bilgiç

**AKUSTİK GAZ TERMOMETRE YÖNTEMİ İLE SES HIZI
ÖLÇÜMLERİ 191**

Cafer Kırbaş, Hasipcan Aydın

**BİNALARIN AKUSTİK DEĞERLENDİRİLMESİNDE AHP'E DAYALI
TEK SAYILI DERECELEME SİSTEMİ 202**

Selma Kurra, Ayca Şentop Dümen

**MİLLÎ KÜTÜPHANE OKUMA SALONLARI AKUSTİK KONFOR
KOŞULLARININ ULUSAL VE ULUSLARARASI MEVZUATLAR
KAPSAMINDA İNCELENMESİ 214**

Betül Karakoç, Füsun Demirel, Zuhale Özçetin, Merve Gökem, Sebahat Gül İlisulu,

Ezgi Dadaş Arıkan

**MAĞAZALARIN AKUSTİK KONFORUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİNDE İSTANBUL'DA BİR MOBİLYA
MAĞAZASI ÖRNEĞİ 225**

Deniz Demir, Bilge Şan Özbilen, İ. Zeynep Savcı Özgüven

**DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜNE MARUZ ÜNİVERSİTE DERSLİĞİNDE
AKUSTİK ORTAMININ DEĞERLENDİRİLMESİ 236**

Ali Sercan Kesten, Muhammed Yusuf Kahveci, Elif Nisa Yıldırım, Murat Aytar

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ LİF ESASLI AKUSTİK PANELİN
PERFORMANSININ HAM PET KEÇEYE (12 MM PLATE)
KARŞILAŞTIRILMASI: POROZİTE VE LİF YAPISININ AKUSTİK
DAVRANIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ..... 248**

Aslı Kılınç, Tuba Keseci Erkurt, İrem Cemre Koç

**YUTUCU YÜZEYİ ÜZERİNDEKİ SES HIZININ SES ALANI
AYRIŞTIRMASI YOLUYLA İNCELENMESİ..... 258**

Arif Onur Yürek, Tapio Lokki

**HELMHOLTZ REZONATÖRLERİNDE FORM FAKTÖRÜNÜN
ETKİLERİNİN BİR REZONATÖR ÖLÇÜM ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN
DEĞERLENDİRİLMESİ 270**

Doğancan Akbay, Suat Vergili, Feridun Öziş, Konca Şaher

**ÇEŞİTLİ GEOMETRİK PARAMETRELERE SAHİP AKUSTİK
MENFEZLERİN EKLEME KAYBI SAYISAL İNCELEMESİ.....280**

Mete Ögüç, Ali Fethi Okyar, Tahsin Khajah

**PİEZOELEKTRİK DİSKLERİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE MODAL KARAKTERİZASYONU.....286**

Mete Ögüç, Cenk Dinçbakır

İÇ MEKÂN İŞİTSEL PEYZAJ YAKLAŞIMININ MİMARİ SÜREÇ İLE İLİŞKİLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YÖNTEM ÖNERİSİ

Uğur Beyza Erçakmak Osmalı¹, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu²

¹⁻²Çankaya Üniversitesi, Etimesgut, Ankara, Türkiye
e-posta: beyzaercakmak@gmail.com, papatya@cankaya.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, iç mekân işitsel peyzaj yaklaşımının mimari/iç mimari uygulamalar ile ilişkilerine odaklanmaktadır. İç mekân işitsel peyzajın pratikte uygulanabilirliği söz konusu olduğunda, mimari tasarım ve uygulama süreci ile ele alınarak bir yöntem oluşturulması gerektiği görülmüştür. Bu doğrultuda, 4 aşamalı bir yöntem tasarlanmıştır: (1) iç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörlerin belirlenmesi, (2) mimari sürecin aşamalarının tanımlanması, (3) mimari/içmimari pratikteki durum tespiti ve (4) elde edilen veriler doğrultusunda bir anket çalışmasıyla ilişkilerin belirlenmesi. Bu ilişkilerin belirlenmesiyle birlikte ise, iç mekân işitsel peyzajın mimari sürece nasıl entegre edileceğine dair bir yol haritasının da belirlenebileceği ön görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yöntem önerisi, iç mekân işitsel peyzaj, uygulanabilirlik, mimari süreç.

A METHOD PROPOSAL FOR DETERMINING THE RELATIONSHIPS BETWEEN INDOOR SOUNDSCAPE APPROACH AND THE ARCHITECTURAL PROCESS

ABSTRACT

This study focuses on the relationships between indoor soundscape approach and architectural practice. Practical applicability of indoor soundscape needs a method by considering the architectural process as well. In this regard, a four-stage method has been designed: (1) identifying the influencing factors of indoor soundscape, (2) defining the architectural process stages, (3) assessing the current situation in practice, and (4) determining the relationships through a survey based on the obtained data. Consequently, identifying these relationships is expected to establish a framework for integrating indoor soundscape into the architectural process.

Keywords: Method proposal, indoor soundscape, applicability, architectural process.

1. GİRİŞ

İşitsel peyzaj yaklaşımı, akustik ortamı kullanıcıların algı, deneyim ve tercihlerine göre ele alarak [1], sesleri yalnızca yönetilmesi gereken bir gürültü unsuru değil, değerlendirilebilecek bir kaynak olarak görmektedir [2-4]. Kentsel ölçekte standardizasyon ve yöntemler geliştirilmiş olsa da, kapalı mekânlara yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Oysa iç mekânlarda akustik konfor, yalnızca fiziksel ölçütlere değil, aynı zamanda kullanıcıların algısal ve bilişsel deneyimlerine de bağlıdır.

İşitsel peyzaj yaklaşımı, akustik ortamı “bir kişi ya da kişiler tarafından, bağlam içinde algılandığı, deneyimlendiği ve/veya anlaşıldığı biçimiyle” ele almakta [1], gürültü yönetimi ile insanların akustik ortama ilişkin algısal boyutlarını bütüncül bir tutumla birleştirmekte [5], ve sesleri yönetilmesi gereken bir atık olarak değil, değerlendirilebilecek bir kaynak olarak görerek olumlu bir bakış açısı sunmaktadır [2-4].

Buna göre, işitsel peyzaj yaklaşımının uygulamaya dahil edilmesi, tek başına gürültü yönetimi uygulamalarının ötesine geçerek kullanıcı algısı, deneyimi ve tercihlerine daha fazla odaklanarak akustik ortamların iyileştirilmesini bir adım ileriye taşıma potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, “International Organization for Standardization” (ISO) tarafından yürütülen çalışmalarla kentsel ölçekte bir standart (ISO 12913-1:2014) [1] ve iki teknik doküman yayımlanmıştır (ISO 12913-2:2018, ISO 12913-3:2019) [6, 7], ancak bunlar çoğunlukla araştırma temellidir. Öte yandan, işitsel peyzaj yaklaşımının kullanıcı odaklı yani öznel tutumu, profesyonel pratikte uygulanabilirliği daha karmaşık hale getirmektedir. Bununla birlikte, ISO 12913 serisinin 4. bölümü [8], işitsel peyzajın korunma ve/veya iyileştirilme gerekliliğinin belirlenmesine yönelik bir kılavuz ile işitsel peyzaj müdahalelerine ilişkin bir çerçeve sunmayı amaçlamakta olup halen geliştirilme aşamasındadır. Bu bağlamda, İşitsel Peyzaj Müdahale Kataloğu (Catalogue of Soundscape Interventions-CSI) projesi, kentsel işitsel peyzaj müdahaleleri için bir yöntem önermek amacıyla geliştirilmiştir. Proje, ISO/TS 12913 Bölüm 4’ün kapsamı doğrultusunda işitsel peyzaj tasarımı için pratik bir rehberle duyulan ihtiyaçtan doğmuştur [8]. CSI projesinin temel amacı, dünya genelinde başarılı işitsel peyzaj tasarımlarını belirleyerek, gelecekteki tasarımlar için stratejiler geliştirmede kullanılacak temel bilgi sağlamaktır [9-11]. CSI projesi kapsamında “işitsel peyzaj müdahalesi” terimi, “akustik bir ortamı korumayı veya iyileştirmeyi amaçlayan, mekâna özgü bir tasarım” olarak tanımlanmaktadır [10]. Ancak, uygulama alanında işitsel peyzaj tasarımı ve müdahaleleri konusunda bir uzlaşma ve sistematik literatür taraması ile işitsel yöntemlerin faydalarına dair ampirik verilerin özeti halen eksiktir [12]. Dünyanın farklı bölgelerinden toplanacak veriler, gelecekte işitsel peyzaj tasarımı için bir “tasarım araç kiti” geliştirilmesine olanak sağlayacaktır [12]. Öte yandan, iç mekân işitsel peyzaj uygulamaları, kentsel işitsel peyzaj uygulamalarının gerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, gürültü ve mimari akustik uygulamalarının yanı sıra, iç mekân tasarım ve uygulama sürecinde işitsel peyzaj yaklaşımına farkındalık kazandırmanın yollarının araştırılması gerekmektedir. “İşitsel peyzaj müdahalesi” terimi, iç mekân işitsel peyzaj yaklaşımı için de kullanılabilecek bir şemsiye kavram olarak tanımlanmaktadır [9-11].

Bu çalışma ise, Çankaya Üniversitesi, tasarım doktora programında devam eden tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemler aracılığıyla iç mekân işitsel peyzaj yaklaşımının mimari pratiğe nasıl entegre edilebileceğini araştırmaya dair yöntemsel bir çerçeve önermektedir. Asıl amaç ise, önerilen yöntemler ile iç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörler ile mimari süreçler arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, uygulamaya yönelik ilk adımı atmaktır. Bu doğrultuda dört hedef ve ilgili veri toplama ve analiz yöntemi belirlenmiştir:

- (1) İç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörlerin belirlenmesi: Bu amaçla sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler, temellendirilmiş kuram (grounded theory-GT) yaklaşımıyla analiz edilerek ISI (Indoor Soundscape Intervention) kriterleri olarak kategorize edilip kavramsallaştırılmıştır.
- (2) Mimari tasarım ve uygulama sürecinin incelenmesi: Mimari tasarım ve uygulama süreçlerinin aşama ve döngülerini anlamak için kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmış; bu inceleme, sürecin kavramsal bir çerçevesi ve sistematik bir sınıflandırmasını oluşturmak için kullanılmıştır.
- (3) Profesyonel uygulamada ses olgusunun değerlendirilmesi (akustik uzmanlığı olmayan): Mimarlar ve iç mimarlar ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş; toplanan nitel veriler GT yöntemiyle analiz edilerek tasarım pratiğinde sesle ilgili yaklaşımlar, eğilimler, bilgi ve sınırlılıklar ortaya konmuştur.
- (4) İşitsel peyzaj ve mimari sürecin ilişkilerinin değerlendirilmesi: Akustik uzmanlığı olan mimar ve iç mimarlara yönelik çevrimiçi bir anket tasarlanıp uygulanmıştır. Anketin amacı, ISI kriterlerinin mimari süreç aşamalarıyla ilişkisini değerlendirmek olup, elde edilen yanıtlar istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir.

2. İÇ MEKÂN İŞİTSEL PEYZAJI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

ISI kriterleri, iç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörlerin derlenmesi ile mimari süreçte müdahale edilecek ya da dikkate alınacak kriterler listesinin mümkün olduğunca kapsamlı bir şekilde listelenmesini ve kategorize edilmesini içermektedir. Çalışmanın bu bölümü, bir ön araştırma ve sistematik derleme olarak yayınlanmıştır [13]. Yöntem iki aşamada tasarlanmıştır: (1) sistematik literatür taraması (Systematic Review, SR) ile veri toplama ve (2) toplanan verilerin GT yaklaşımıyla analiz edilip birleştirilmesi.

2.1. Sistematik literatür taraması

İç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla Web of Science ve Scopus veri tabanları kullanılarak sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir (son arama: Nisan 2025). Makaleler, bildiriler, derlemeler ve kitap bölümleri dahil edilmiştir. Aramada, işitsel peyzaj öğelerini ve kuramsal çerçeveyi ifade edebilecek anahtar kelimeler birleştirilmiş ve “soundscape” kelimesi ile eşleştirilmiştir. Kentsel ve ekolojik işitsel peyzaj modelleri de iç mekân kuramının yapı taşlarını oluşturduğu için taramaya dahil edilmiştir.

Tarama ve uygunluk süreci PRISMA 2020 akış diyagramı [14] ile yürütülmüştür. Başlık, özet ve anahtar kelimeler ön taramaya dahil edilmiş; tekrarlanan veya konu/bağlam dışı kayıtlar çıkarılmıştır. Tam metin değerlendirmesi sonucunda, işitsel peyzaj alanının tanımı, etki eden öğeleri veya kuramsal çerçevesi eksik olan çalışmalar çıkarılmış ve atıf taramasıyla ek çalışmalar dahil edilmiştir. Sonuç olarak, veri çıkarımı için toplam 29 çalışma kullanılmıştır.

2.2. Temellendirilmiş kuram (GT)

Sistematik literatür taraması (SR) sırasında toplanan kapsamlı nitel verilerin analiz ve birleştirilmesi için, literatürde işitsel peyzaj çalışmalarında da kullanılan GT kodlama süreci uygulanmıştır [11, 15-21]. GT, genellikle görüşmeler yoluyla elde edilen verilerin analizinde ve organize edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada veriler, Bowers ve Creamer [22] ile Wolfswinkel ve ark. [23] çalışmalarında da uygulandığı gibi, birincil veri (görüşme) yerine ikincil kaynaklardan (yayınlanmış yazılı materyaller) SR aracılığıyla elde edilmiştir [22, 23]. GT ilkeleri, ikincil verilerle de korunabilir; ancak geleneksel teorik doygunluğa

ulaşmak, zaman ve kaynak sınırlamaları nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir [22, 23]. Geleneksel GT’de teorik doygunluk, yeni kavram veya bilgilerin ortaya çıkmadığı noktaya kadar, veri toplamanın döngüsel olarak devam ettiği bir süreçtir [11, 23-26]. Veriler ikincil kaynaklardan elde edildiği için geleneksel teorik doygunluk doğrudan uygulanamamıştır. Buna rağmen, yapılandırılmış arama, çalışma süresince üç farklı dönemde (Haziran 2023, Temmuz 2024, Nisan 2025) tekrarlanarak teorik doygunluğa mümkün olduğunca yaklaşılmıştır. Burada teorik doygunluk, araştırmacının kategorilerin tamamlandığı ve iyi tanımlandığına inandığı noktada veri toplamanın sona erdiği bir süreç olarak kabul edilmiştir [22]. Ayrıca, önceden tanımlanmış dahil etme kriterleri ve yapılandırılmış arama stratejisi ile şeffaflık ve tekrarlanabilirlik sağlanmıştır.

2.3. ISI kriterleri

Sistematiik literatür taramasından elde edilen ikincil veriler GT kodlama sürecinde analiz edilmiş ve kategorilere ayrılmıştır. ISI kriterleri, veri anlam birimlerinden (**açık kodlama / open coding**) başlayıp ve tekrar eden kavramlar elimine edilerek, verilerin birleştirilmesiyle aksel kodlama (**axial coding**) sürecine geçirilmiştir. Daha sonra seviyeler (etiketler), kavramlar arasındaki benzerlik ve ilişkilerine göre kategorize edilerek tanımlanmıştır. Böylece benzer ve ilişkili öğeler bir araya getirilmiş ve üst düzeydeki kategoriler oluşturulmuştur. Bu süreç birkaç kez tekrarlanmış ve veri organizasyonu sırasında üç seviye (L1, L2, L3) ortaya çıkmıştır.

L1: Literatürden çıkarılan anlam birimi (anamlı en küçük veri parçası, anahtar kelime, kavram ya da tanım),

L2: Benzer veya ilişkili öğelerden oluşan bir üst düzey (overarching) kategori,

L3: Benzer L2 kavramlarından oluşan çekirdek kategori veya iç mekân işitsel peyzaj ana bileşenleri.

Sonuç olarak, İç mekân işitsel peyzaj yaklaşımının temel bileşenleri (L3) “Ses (Sound)”, “İnsan (People)”, “Bina (Building)” ve “Çevre (Environment)” olarak belirlenmiştir. Ses bileşenine 5, İnsan bileşeninde 7, Bina bileşeninde 10, ve Çevre bileşeninde 7 L2 seviyesinde kategori oluşturulmuştur (

Şekil 1). L1 düzeyindeki detaylı veriler [13] çalışmasında yayınlanmıştır.

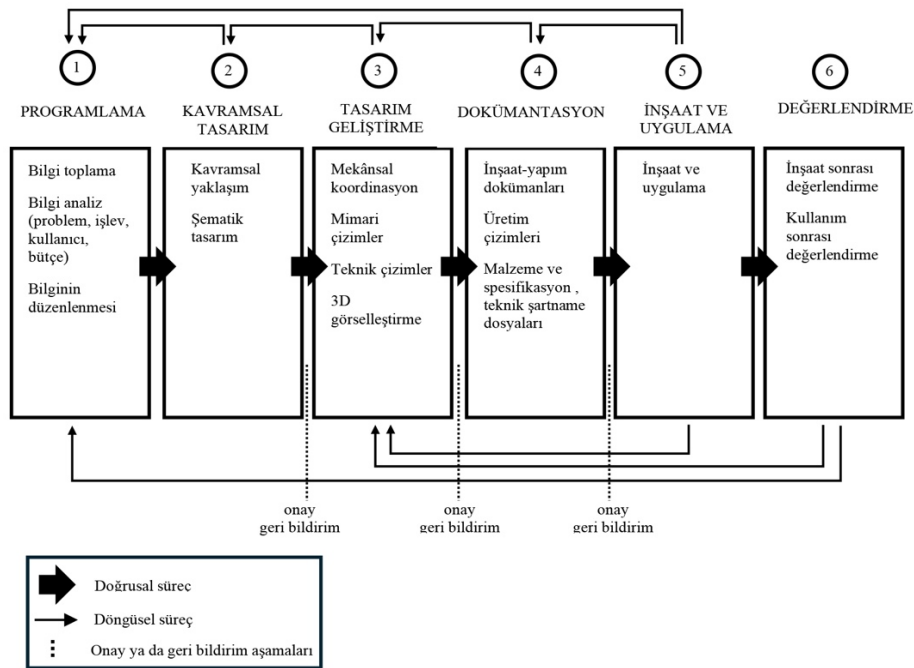


Şekil 1: Mimari süreçte dikkate alınacak iç mekân işitsel peyzaj müdahale (ISI) kriterleri [1, 4, 27-52]. GT birleştirme sürecinde derlenmiş ve önerilmiştir.

3. MİMARİ TASARIM VE UYGULAMA SÜRECİ

Bu bölümün amacı, mimari tasarım ve uygulama sürecini ve bu aşamalar arasındaki döngüleri tanımlamak ve açıklamaktır. Ön araştırma ve sonuçlar, daha önce iki farklı kongrede sunulmuştur [53, 54]. Mimari sürecin tanımlanması ve anlaşılması, iç mekân işitsel peyzajının mimari pratiğe entegre edilebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Mimari süreç üzerine incelenen çalışmaların ve örneklerin [55-62] değerlendirilmesi sonucunda, altı ana aşamadan oluşan bütünlük bir model geliştirilmiştir: (1) Programlama, (2) Kavramsal Tasarım, (3) Tasarım Geliştirme, (4) Dokümantasyon, (5) İnşaat ve Uygulama, (6) Değerlendirme (Şekil 2). Bu bütünlük model, bir projenin genel işleyişini ve uygulanışını göstermek amacıyla mimari sürecin doğrusal aşamalarını ortaya koymakta, ancak aynı zamanda bu aşamalar arasındaki döngüsel ilişkileri de dikkate almaktadır. Süreç, problem tanımı, işlevsel ve kullanıcı gereksinimlerinin yanı sıra bütçe verilerinin toplanması, analizi ve düzenlenmesini içeren programlama aşamasıyla başlamaktadır. Kavramsal tasarımdan yapım ve uygulama aşamasına kadar olan süreçte, karar vericilerden (ör. işveren, müşteri) gelen geri bildirimlere bağlı olarak önceki aşamalara dönüşler olabilmektedir. Uygulama aşamasında aksaklıklar ya da revizyonların ortaya çıkması durumunda dokümantasyon ve tasarım geliştirme aşamalarına; tamamlanma sonrası ve kullanım değerlendirmeleri sırasında ise tasarım geliştirme ve programlama aşamalarına geri dönülmesi gerekebilmektedir. Ancak bu öneri, mimari sürecin genel değerlendirmesi niteliğinde olup, aşamalar arasındaki ilişkiler müdahale türüne, proje gereksinimlerine ve süreçte karşılaşılan durumlara bağlı olarak daha karmaşık bir yapı sergileyebilmektedir.



Şekil 2. Mimari tasarım süreci ve döngüsü üzerine bütünlleştirici model.

3.1. Yarı yapılandırılmış görüşmeler

Mimari pratikte ses olgusunun tasarım ve uygulama süreçlerindeki mevcut konumunu araştırmak üzere hazırlanan çalışma ve bulguları daha önce sunulmuş ve kongre bildirisi olarak yayınlanmıştır [63].

3.2. Görüşmelerin katılımcıları

Yarı yapılandırılmış görüşmeler toplam 5 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların en az 10 yıl mesleki deneyime sahip olmalarına ve halen aktif olarak çalışıyor olmalarına dikkat edilmiştir. Katılımcıların çeşitlilik göstermesi için eğitim düzeyi, mesleki deneyim yılı, uzmanlık alanı, mimarlık ve içmimarlık mesleki dağılımı, çalışma alanları ve proje türleri gibi farklı açılardan çeşitlilik sağlanmıştır.

3.3. Görüşmelerin soru yapısı

Yarı yapılandırılmış görüşmeler katılımcılarla yüz yüze, 30–50 dakika arasında değişen sürelerde gerçekleştirilmiştir. Soruların belirlenmesinde Steel ve ark.'nın çalışması [19] temel alınmış, ancak kentsel ve iç mekân işitsel peyzaj kavramları arasında önemli farklılıklar bulunduğundan küçük yapısal uyarlamalar yapılmıştır. Bu nedenle bazı sorular doğrudan alınmış, bazıları iç mekân işitsel peyzaj yaklaşımına uyarlanmış, bazıları ise tamamen yeni oluşturulmuştur [63]. Ayrıca görüşmeler Türkiye’de ve Türkçe anadili olan katılımcılarla yürütüldüğü için sorular Türkçeye çevrilerek hazırlanmıştır.

Sonuç olarak görüşmeler dört bölümden oluşmuştur:

- (5) **Giriş:** Katılımcıların demografik, eğitimsel ve mesleki bilgileri toplanmıştır.
- (6) **Teknik Öncelikler Listesi:** Uzmanların projelerde hangi teknik konulara öncelik verdiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.
- (7) **Gürültü ve işitsel peyzajla ilgili değerlendirmeler ve uygulamalar:** Katılımcıların gürültü yönetimi ve işitsel peyzaj konusundaki bilgi ve uygulamalarına ilişkin veriler elde edilmiştir.
- (8) **Proje temelli uygulamalar:** Katılımcılardan yakın zamanda tamamladıkları bir projeyi seçmeleri istenmiş ve bu projedeki sesle ilgili yaklaşımları ve dikkate aldıkları hususlar sorulmuştur.

3.4. Veri analizi

Görüşmelerden elde edilen nitel veriler, GT kodlama süreci kullanılarak analiz edilmiştir. Kodlama aşamasında, tekrar eden veya katılımcılar tarafından vurgulanan anahtar kavramlar belirlenmiş ve bunlar *neden (why)*, *ne (what)* ve *nasıl (how)* bağlamlarında sınıflandırılmıştır [19]. Bu çerçevede *nedenler*, katılımcıların sesi dikkate alma motivasyonlarını; *neler*, yaklaşımlarının tanımlayıcı kavramlarını; *nasıllar* ise karar verme ölçütleri ve uygulama yöntemlerini ortaya koymaktadır. Kodlama süreci sonucunda yaklaşımlar temel olarak *mevzuat*, *kullanıcı/müşteri/işveren*, *yapının işlevi* ve *konumu* ve *tasarım bütünlüğü* başlıklarında toplanmıştır. Öte yandan, görüşmelerden elde edilen veriler sesle ilgili çeşitli eksiklikleri de ortaya koymuştur. Bu eksiklikler için yapılan kodlamada *neler* eksikliklerin kendisini, *nedenler* bunların ortaya çıkış sebeplerini, *nasıllar* ise çözüm önerilerini temsil etmektedir. Böylece çalışma kapsamında hem yaklaşımlar hem de eksiklikler, iki ayrı kodlama süreci ile değerlendirilmiştir.

3.5. Sonuçlar

Görüşmelerin GT kodlama süreci sonucunda, uzmanların sesi dikkate alma motivasyonları dört başlık altında toplanmıştır: (A1) Mevzuat, (A2) Kullanıcı/Müşteri/İşveren, (A3) Yapının işlevi ve konumu, (A4) Tasarım bütünlüğü. Örneklem üzerinden yapılan değerlendirmelerde, ses yalıtımı, akustik malzeme seçimi, mekânsal organizasyon ve cephe müdahaleleri gibi

uygulamalar öne çıkmıştır. Bununla birlikte, katılımcılar özellikle mevzuat bilgisi (gürültü özelindeki yönetmelikler), mimari akustik ve işitsel peyzaj konularında farkındalık eksikliği yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bu eksikliklerin temel nedenleri eğitimdeki eksik uygulamalar ve denetim mekanizmalarının zayıflığı olarak belirtilmiş; çözüm önerileri ise lisans ve lisansüstü eğitimde akustik içeriklerin güçlendirilmesi, meslek odalarının bilgilendirme faaliyetleri ve yasal yaptırımların artırılması olmuştur. Tüm katılımcılar, sesin kullanıcı konforu için kritik olduğunu ve tasarım sürecinin en başında ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Ancak, bütçe kısıtları ve yetersiz mevzuat kontrolleri, akustik uygulamaların hayata geçirilmesini çoğu zaman zorlaştırmaktadır.

4. ANKET ÇALIŞMASI

Bu bölüm, çalışmanın ana kısmını oluşturan anket araştırmasını içermektedir. Önceki bölümde gerçekleştirilen mevcut durum tespitinde, uzmanların sınırlı bilgiye sahip oldukları ve işitsel peyzaj yaklaşımını mimari sürece entegre etmedikleri görülmüştür. Bu nedenle, mimarlık ve içmimarlık kökenli olup akustik alanında uzmanlaşmış profesyonellere yönelik bir anket çalışması tasarlanmıştır. Anketin amacı, mimari sürecin aşamaları ile ISI kriterlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlamak ve sonrasında bu ilişkiler doğrultusunda entegrasyona yönelik bir model önermektir.

4.1. Anket soruları

Anket, katılımcıların demografik ve mesleki bilgilerini toplamak üzere iki (A ve B) ve “2. ISI Kriterleri” başlığı altında sunulan işitsel peyzajın dört ana bileşeni (Ses, İnsan, Bina ve Çevre ile 29 alt kategoriye dayalı olarak ISI kriterlerinin, “3. Mimari Tasarım ve Uygulama Süreci” başlığı altında sunulan 6 mimari sürecin (Programlama, Kavramsal tasarım, Tasarım geliştirme, Dokümantasyon, Uygulama, Değerlendirme) her biriyle olan ilişkisini değerlendirmek üzere tasarlanmış bir ana bölüm (C) içermektedir. Ana bölümde, her kategori için önem derecelendirmesi (T1), müdahale/değerlendirme potansiyeli (T2), açık uçlu gerekçe/açıklama sorusu (T3) ve öncelik sıralaması (T4) olmak üzere dört farklı soru türü hazırlanmıştır (

Tablo 1). Böylece, kriterlerin önem ve uygulanabilirliği ile süreçler arasındaki ilişkiler sistematik olarak ortaya konulması hedeflenmektedir.

Tablo 1. Anket bölümleri ve soru türleri.

BÖLÜM	ALT BÖLÜM	SORU TÜRÜ
A) Demografik	A.1) Cinsiyet A.2) Yaş	Çoktan seçmeli soru
B) Eğitim ve Meslek	B.1) Meslek (mimar/içmimar) B.2) Eğitim seviyesi B.3) Akustik alanı eğitimleri* B.4) Tecrübe yılı	Çoktan seçmeli soru
C) 29 kriterin her biri için hazırlanan ana sorular	C.1) Ses (5 kriter) C.2) İnsan (7 kriter) C.3) Bina (10 kriter) C.4) Çevre (7 kriter)	T.1: Önem derecelendirmesi ölçeği (0-10); Her bir mimari süreç için T.2: Çoktan seçmeli müdahaleye uygunluk sorusu; Her bir mimari süreç için T.3: Açık uçlu açıklama sorusu (T.2 türü soruya verilen cevaba göre) ** T.4: Öncelik sıralama sorusu (1 en az öncelikli-6 en öncelikli)

*Birden fazla cevabın işaretlenebileceği çoktan seçmeli soru

** Yalnızca 10 katılımcıya verilen soru

4.2. Anket katılımcıları

Anketin hedef katılımcıları, akustik alanında uzmanlaşmış profesyonellerdir. Katılımcılar, Türk Akustik Derneği (TAKDER) üye listesi üzerinden filtreleme yöntemiyle seçilmiştir. Anket için mimari süreçler konusunda mesleki bilgi ve deneyim gerekliliği nedeniyle yalnızca mimar veya iç mimar olan üyeler dahil edilmiştir. Toplam 203 TAKDER üyesi arasından 58 kişi belirlenen katılım kriterlerini karşılamış ve anket daveti almıştır. Analizler ve değerlendirmeler için asgari 30 yanıt yeterli kabul edilmiştir.

4.3. Anket veri analizi

Anket yanıtlarının birincil analiz yöntemleri ve tartışma yaklaşımı, çalışmanın amaçladığı sonuçlar doğrultusunda planlanmıştır. Yanıtların genel dağılımını değerlendirmek amacıyla, özellikle T.1 ve T.4 soru türleri için yanıt frekans dağılımları analiz edilmektedir. Bu nedenle, frekanslar ile birlikte özet istatistikler (ortalama, medyan, birinci ve üçüncü çeyrekler [Q1, Q3], maksimum [max], minimum [min] ve standart sapma [SD], varyasyon katsayısı [SD/MEAN]) kullanılarak, her bir kategori için her mimari süreçteki önem ve öncelik derecelendirmeleri belirlenmektedir.

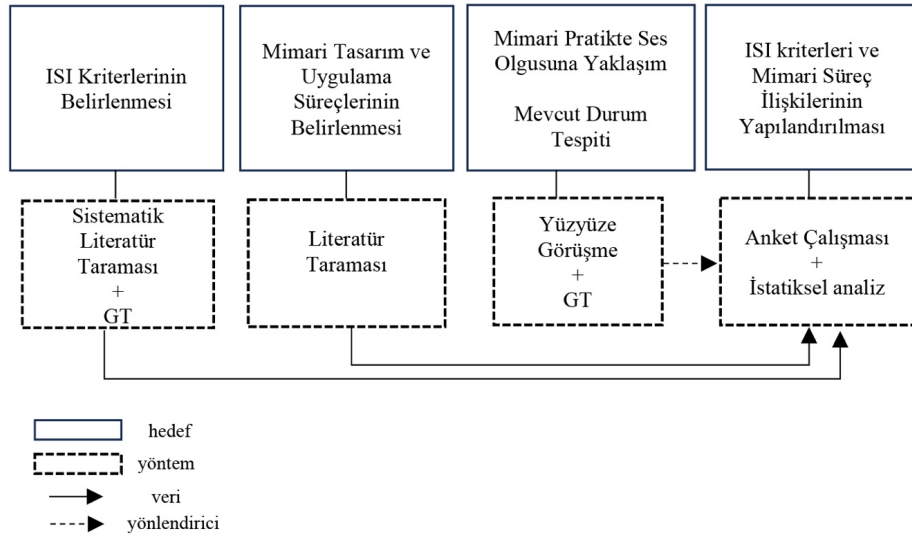
Ayrıca, farklı ölçeklerdeki veriler arasındaki ilişkileri analiz etmek için Spearman korelasyon katsayıları kullanılmaktadır (T.1 ve T.4). Bu analiz, T.1 ve T.4 yanıtları arasındaki tutarlılığı değerlendirmeyi ve bir kriterin hem önemli hem de öncelikli olarak değerlendirildiği alanları incelemeyi amaçlamaktadır. Tutarlılığın incelenmesi, olası uyumsuzlukları tespit etmeye yöneliktir. Örneğin, bir kriter belirli bir mimari süreçte düşük önem puanı almış ancak aynı zamanda yüksek öncelik sıralamasına sahip ise, bu bir tutarsızlık olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, bir kriter tüm süreçlerde sürekli olarak yüksek önem puanı alıyorsa, bazı süreçlerde doğal olarak daha düşük öncelik sıralamasına sahip görünmesi beklenen bir durumdur ve bu durumda kriterin önemli olduğu ve diğer süreçlerle karşılaştırıldığında görece olarak öncelikli olduğu yorumlanabilir. Bu nedenle, korelasyonların analiz edilmesinin, her kriterin mimari süreçler içindeki konumu hakkında değerli bilgiler sağlaması beklenmektedir. T.2 sorularının sonuçları uygulanabilirlik tartışmaları için kullanılacak ve frekanslar temelinde, ISI kriterleri ile mimari süreçler arasındaki ilişkileri “önem” ve “müdahale/değerlendirme” bilgilerini de içerecek şekilde temsil eden şematik bir model geliştirilmesi hedeflenmektedir. Analizler özellikle şu konuları incelemektedir:

- (1) Her bir kategori için her mimari süreçteki önem ve öncelik derecelendirmeleri,
- (2) Her mimari süreçte müdahale edilebilirlik durumu,
- (3) Belirli bir mimari süreçte bir kategoriye önemli olarak değerlendiren katılımcıların aynı kategori için müdahale edilebilir olarak görme derecesi,
- (4) Önem puanlamaları ile öncelik sıralamaları arasındaki tutarlılık,
- (5) Kriterlerin hem önemli hem de öncelikli olarak değerlendirildiği süreçler,

Anket bulgularına göre, hem önemli (T.1) hem de müdahale edilebilir/uyarlanabilir (T.2) olarak değerlendirilen kategoriler için, T.3 sorusu potansiyel tasarım stratejilerini önermek veya mevcut mevzuattaki eksiklikleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Önemli ancak müdahale edilemez/uyarlanamaz olarak değerlendirilen kategoriler için, katılımcı açıklamaları doğrultusunda sınırlamaları aşmak için öneriler geliştirilebilir. Ayrıca, T.3 yanıtları T.1 ve T.4 sonuçlarındaki tutarsızlıkları tespit etmek için bir rehber olarak da işlev görebilir.

5. SONUÇ

Bu bildiride, Çankaya Üniversitesi Tasarımda Doktora Programı kapsamında yürütülmekte olan tez çalışmasının kapsamlı yöntem yaklaşımının özet bir bölümü sunulmaktadır. Dört aşamalı olarak yapılandırılan bu yöntem, iç mekân işitsel peyzajın mimari sürece entegrasyonuna yönelik bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır. Yöntemler ardışık olarak kurgulanmış olup, her birinden elde edilen veriler sonraki yöntemi ya da yöntemleri beslemiş, ya da yöntemin yapılandırılmasına katkı sağlamıştır (**Şekil 3**).



Şekil 3. Hedefler ve yöntem özeti

İlk aşamada, SR ve GT yaklaşımıyla iç mekân işitsel peyzajı etkileyen faktörler belirlenmiş, bu faktörler ISI kriterleri olarak kavramsallaştırılmıştır. İkinci aşamada, mimari tasarım ve uygulama süreçlerinin aşamaları literatür taramasıyla tanımlanmış ve mimari sürecin kavramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada, akustik uzmanlığı olmayan mimar ve içmimarlarla yapılan görüşmeler, profesyonel pratikte ses olgusuna yönelik farkındalık düzeyini, mevcut yaklaşımları ve uygulamadaki eksikliklerin iyileştirilmesine yönelik önerileri ortaya koymuştur. Dördüncü aşamada ise, akustik uzmanlığı bulunan mimar ve içmimarlarla yürütülen anket çalışması ve istatistiksel analizler, ISI kriterleri ile mimari süreç aşamaları arasındaki ilişkileri tanımlamayı hedeflemektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, iç mekân işitsel peyzajın mimari sürecin farklı aşamalarında nasıl değerlendirilebileceğine dair bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda geliştirilen yöntem, işitsel peyzajın tasarım ve uygulama süreçlerine sistematik biçimde entegre edilmesi için stratejik bir temel sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ISO, Acoustics-Soundscape-Part 1 : Definition and conceptual framework BS ISO 12913-1:2014 BSI, Genève, Switzerland, 2014.
- [2] A.L. Brown, Soundscapes and environmental noise management, *Noise Control Engineering Journal*, 58, pp. 493-500, 2010 10.3397/1.3484178.
- [3] A.L. Brown, A review of progress in soundscapes and an approach to soundscape planning, *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 17, pp. 73-81, 2012 10.20855/ijav.2012.17.2302.
- [4] R.M. Schafer, *Our Sonic Environment and the Soundscape the Tuning of the World*, Destiny Books, Rochester, Vermont, 1994.
- [5] S. Torresin, R. Albatici, F. Aletta, F. Babich, T. Oberman, J. Kang, Acoustic Design Criteria in Naturally Ventilated Residential Buildings: New Research Perspectives by Applying the Indoor Soundscape Approach, *Applied Sciences*, 9, 2019 10.3390/app9245401.
- [6] ISO, Acoustics-Soundscape-Part 2: Data collection and reporting requirements ISO / TS 12913 - 2 : 2018, Genève, Switzerland, 2018.
- [7] ISO, Acoustics-Soundscape-Part 3: Data analysis PD ISO/TS 12913-3:2019, Geneva, Switzerland, 2019.
- [8] ISO, Acoustics-Soundscape-Part 4: Design and Intervention. ISO/AWI TS 12913-4 (under development).
- [9] C. Moshona, F. Aletta, H. Henze, X. Chen, A. Mitchell, T. Oberman, H. Tong, A. Fiebig, J. Kang, B. Schulte-Fortkamp, What is a soundscape intervention? exploring definitions and identification criteria and a platform to gather real-world examples, *Internoise 2022Glasgow*, Scotland, 2022.
- [10] C. Moshona, F. Aletta, X. Chen, A. Fiebig, H. Henze, J. Kang, A. Mitchell, T. Oberman, B. Schulte-Fortkamp, H. Tong, Deriving a typology of soundscape design interventions, *Forum Acusticum 2023Turin*, Italy, 2023.
- [11] C.C. Moshona, A. Fiebig, F. Aletta, X. Chen, J. Kang, A. Mitchell, T. Oberman, B. Schulte-Fortkamp, A framework to characterize and classify soundscape design practices based on grounded theory, *Noise Mapping*, 11, pp. 1-15, 2024 10.1515/noise-2024-0002.
- [12] X. Chen, F. Aletta, C. Moshona, H. Henze, A. Mitchell, T. Oberman, H. Tong, A. Fiebig, J. Kang, B. Schulte-Fortkamp, Developing a taxonomy of soundscape design from real-world examples, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153, pp. A232-A232, 2023 10.1121/10.0018743.
- [13] U.B. Erçakmak Osm, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, Indoor Soundscape Intervention (ISI) Criteria for Architectural Practice: A Systematic Review with Grounded Theory Analysis, *Acoustics*, 7, 2025 10.3390/acoustics7030046.
- [14] M.J. Page, J.E. McKenzie, P.M. Bossuyt, I. Boutron, T.C. Hoffmann, C.D. Mulrow, L. Shamseer, J.M. Tetzlaff, E.A. Akl, S.E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J.M. Grimshaw, A. Hrobjartsson, M.M. Lalu, T. Li, E.W. Loder, E. Mayo-Wilson, S. McDonald, L.A. McGuinness, L.A. Stewart, J. Thomas, A.C. Tricco, V.A. Welch, P. Whiting, D. Moher, The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, *Syst Rev*, 10, pp. 89, 2021 10.1186/s13643-021-01626-4.
- [15] V. Acun, S. Yilmazer, A grounded theory approach to investigate the perceived soundscape of open-plan offices, *Applied Acoustics*, 131, pp. 28-37, 2018 10.1016/j.apacoust.2017.09.018.
- [16] A. Milo, Reflecting on sonic environments through a structured questionnaire: Grounded theory analysis of situated ss with musicians, *Building Acoustics*, 27, pp. 203-233, 2020 10.1177/1351010x20911066.

- [17] F. Liu, J. Kang, A grounded theory approach to the subjective understanding of urban soundscape in Sheffield, *Cities*, 50, pp. 28-39, 2016 10.1016/j.cities.2015.08.002.
- [18] C. Tarlao, D. Steele, G. Blanc, C. Guastavino, Interactive soundscape simulation as a co-design tool for urban professionals, *Landscape and Urban Planning*, 231, pp. 1-11, 2023 10.1016/j.landurbplan.2022.104642.
- [19] D. Steele, E. Bild, C. Guastavino, Moving past the sound-noise dichotomy: How professionals of the built environment approach the sonic dimension, *Cities*, 132, pp. 1-13, 2023 10.1016/j.cities.2022.103974.
- [20] A. Fiebig, B. Schulte-Fortkamp, The importance of the grounded theory with respect to soundscape evaluation, *CFA/DAGA, Strasbourg*, pp. 349–350, 2004.
- [21] J. Cao, J. Kang, A Perceptual Structure of Soundscapes in Urban Public Spaces Using Semantic Coding Based on the Grounded Theory, *Int J Environ Res Public Health*, 20, 2023 10.3390/ijerph20042932.
- [22] A.W. Bowers, E.G. Creamer, Core principles of grounded theory in a systematic review of environmental education for secondary students, *International Journal of Social Research Methodology*, 24, pp. 713-726, 2020 10.1080/13645579.2020.1818414.
- [23] J.F. Wolfswinkel, E. Furtmueller, C.P.M. Wilderom, Using grounded theory as a method for rigorously reviewing literature, *European Journal of Information Systems*, 22, pp. 45-55, 2017 10.1057/ejis.2011.51.
- [24] J. Corbin, A. Strauss, *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*, 4th ed., SAGE 2015.
- [25] J.M. Corbin, A. Strauss, Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria, *Qualitative Sociology*, 13, pp. 3-21, 1990 10.1007/bf00988593.
- [26] M.A. Alnsour, Using modified grounded theory for conducting systematic research study on sustainable project management field, *MethodsX*, 9, pp. 101897, 2022 10.1016/j.mex.2022.101897.
- [27] M. Zhang, J. Kang, Towards the evaluation, description, and creation of soundscapes in urban open spaces, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, pp. 68-86, 2007 10.1068/b31162.
- [28] J. Kang, Soundscape in city and built environment: current developments and design potentials, *City and Built Environment*, 1, 2023 10.1007/s44213-022-00005-6.
- [29] J. Kang, From understanding to designing soundscapes, *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 4, pp. 403-417, 2010 10.1007/s11709-010-0091-5.
- [30] J. Kang, *Urban Sound environment*, Taylor & Francis e-Library 2006.
- [31] A. Özçevik, Z. Yüksel Can, A study on the documentation and analysis of the urban acoustical environment in terms of soundscape, *Megaron*, 7, pp. 129-142, 2012.
- [32] J. Chen, H. Ma, A Conceptual Model of the Healthy Acoustic Environment: Elements, Framework, and Definition, *Front Psychol*, 11, pp. 554285, 2020 10.3389/fpsyg.2020.554285.
- [33] V. Acun, S. Yilmazer, C. Orhan, *Indoor Soundscape of Historical Spaces: The Case of Çengelhan Caravanserai*, EuronoiseCrete, 2018.
- [34] J. Kang, F. Aletta, T. Oberman, M. Erfanian, M. Kachlicka, M. Lionello, A. Mitchell, Towards soundscape indices, *ICA 2019 Aachen, Germany*, pp. 2488-2495, 2019.
- [35] S. Torresin, R. Albatıcı, F. Aletta, F. Babich, J. Kang, Assessment Methods and Factors Determining Positive Indoor Soundscapes in Residential Buildings: A Systematic Review, *Sustainability*, 11, 2019 ARTN 5290 10.3390/su11195290.
- [36] P.N. Dökmeci Yörükoğlu, J. Kang, Development and testing of Indoor Soundscape Questionnaire for evaluating contextual experience in public spaces, *Building Acoustics*, 24, pp. 307-324, 2017 10.1177/1351010x17743642.

- [37] P.N. Dökmeci Yörükoğlu, J. Kang, Analysing Sound Environment and Architectural Characteristics of Libraries through Indoor Soundscape Framework, *Archives of Acoustics*, 41, pp. 203-212, 2016 10.1515/aoa-2016-0020.
- [38] P.N. Dökmeci, New Framework on Indoor Soundscaping through Built Entity, Sound Environment, and Contextural Experience, The University of Sheffield, 2013.
- [39] A.A.M. Aburawis, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, An integrated framework on soundscape perception and spatial experience by adapting post-occupancy evaluation methodology, *Building Acoustics*, 25, pp. 3-16, 2018 10.1177/1351010x18758478.
- [40] U.B. Erçakmak, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, Comparing Turkish and European Noise Management and Soundscape Policies: A Proposal of Indoor Soundscape Integration to Architectural Design and Application, *Acoustics*, pp. 847-865, 2019.
- [41] Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik [Regulation on the protection of buildings against noise], Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [Ministry of Environment and Urbanisation], Resmi Gazete (Official Journal), Turkey, 2017.
- [42] N.H. Abdul Hamid, M.E. Zainal Abdullah, N.I. Othmani, S.A. Mohamed, L.B. Yeo, W.S.N. Wan Mohamad, N. Ramlee, N. Ujang, Visual perception factors on the soundscape of urban shopping streets: Environmental factors, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1167, 2023 10.1088/1755-1315/1167/1/012047.
- [43] M.D. Egan, *Architectural Acoustics*, J. Ross Publishing, Fort Lauderdale, FL, 2007.
- [44] M. Ermann, *Architectural Acoustics Illustrated*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2015.
- [45] E. Grinfeder, C. Lorenzi, S. Hauptert, J. Sueur, What Do We Mean by “Soundscape”? A Functional Description, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 2022 10.3389/fevo.2022.894232.
- [46] Y. Hasegawa, S.-K. Lau, Comprehensive audio-visual environmental effects on residential soundscapes and satisfaction: Partial least square structural equation modeling approach, *Landscape and Urban Planning*, 220, 2022 10.1016/j.landurbplan.2021.104351.
- [47] K. Herranz Pascual, I. Aspuru, I. García, Proposed Conceptual Model of Environmental Experience as Framework to Study the Soundscape, *Inter Noise 2010* Lisbon, Portugal, pp. 1-9, 2010.
- [48] K. Herranz-Pascual, I. García, I. Aspuru, I. Díez, Á. Santander, Progress in the understanding of soundscape: objective variables and objectifiable criteria that predict acoustic comfort in urban places, *Noise Mapping*, 3, pp. 247-263, 2016 10.1515/noise-2016-0017.
- [49] P. Jennings, R. Cain, A framework for improving urban soundscapes, *Applied Acoustics*, 74, pp. 293-299, 2013 10.1016/j.apacoust.2011.12.003.
- [50] M. Long, *Architectural Acoustics*, Elsevier Academic Press, MA, USA, 2006.
- [51] C. Tarlao, J. Steffens, C. Guastavino, Investigating contextual influences on urban soundscape evaluations with structural equation modeling, *Building and Environment*, 188, 2021 10.1016/j.buildenv.2020.107490.
- [52] H. Zhang, M. Qiu, L. Li, Y. Lu, J. Zhang, Exploring the dimensions of everyday soundscapes perception in spatiotemporal view: A qualitative approach, *Applied Acoustics*, 181, 2021 10.1016/j.apacoust.2021.108149.
- [53] U.B. Erçakmak Osmalı, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, İşitsel peyzaj yaklaşımının mimari süreç ile ilişkilendirilmesi üzerine bir ön model çalışması [İşitsel peyzaj yaklaşımının mimari süreç ile ilişkilendirilmesi üzerine bir ön model çalışması], 14. Ulusal Akustik Kongresi İstanbul (online), pp. 69-80, 2021.
- [54] U.B. Erçakmak, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, Indoor soundscaping and its applicability in architectural practice, *Forum Acusticum 2020 (e-congress)* Lyon, France, 2020.
- [55] RIBA, *Plan of Work 2020 Overview*, RIBA, London, 2020.

- [56] B. Succar, Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, *Automation in Construction*, 18, pp. 357-375, 2009 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [57] A.a.I. HMM, The design process <http://hmmhai.com/design-phases/>.
- [58] I.a.A. Tailored, Design Process of Tailored Interiors and Architecture.
- [59] I. Ruth Preucel, Interior design phases <https://ruthpreucelinteriors.com/design-process/>.
- [60] H. Sanoff, *Methods of Architectural Programming*, Dowden, Hutchinson & Ross 1977.
- [61] T.J.v.d. Voordt, H.B.v. Wegen, *Architecture In Use: An Introduction to the Programming, Design and Evaluation of Buildings*, Architectural Press. Elsevier, Oxford, 2005.
- [62] N. Cross, N. Roozenburg, Modelling the Design Process in Engineering and in Architecture, *Journal of Engineering Design*, 3, pp. 325-337, 2007 10.1080/09544829208914765.
- [63] U.B. Erçakmak Osma, P.N. Dökmeci Yörükoğlu, Where does indoor soundscaping stand in architectural practice? Opinions of the built environment experts, *Forum Acusticum Turin*, Italy, 2023.

MİMARLIK VE MÜZİK İLE TEDAVİ: PALYATİF BAKIM HASTA ODALARI

Feride Zeynep Kırdar¹, Mehmet Nuri İlgürel²

¹⁻²Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye
e-posta: feride.kirdar@std.yildiz.edu.tr, milgurel@yildiz.edu.tr

ÖZET

Hastaneler bilinen ilk mimari örnekleri olan ‘Asklepeionlardan’ günümüze dek, müziğin tedavi sürecinde aktif olarak kullanıldığı yapılar olmuştur. M.Ö.4.yy. ve 21.yy. arasındaki tarihsel süreçte müzikle tedavi ortamları, mimari hacmin etkinliğinin giderek azaldığı, müzik ile tıbbi tedavi ilişkisi, yalnızca hasta üzerindeki değişimleri ve müzik kaynağının bilimsel verileri temel aldığı bir yönetime indirgenmiştir. Bu durumun aksine, mimarlık ve müzik ara kesitinde yer alan ‘mimari akustik’ müzik terapisinin tedavinin bir parçası olduğu hastane bölümleri için önemli bir tasarım parametresi olmaktadır. Bu bağlamda ‘Palyatif Bakım Üniteleri’ yapı fiziği konuları düşünüldüğünde farklı tasarım gereksinimleri olan ve geliştirilmesi gereken yapı bölümleridir. Bu çalışma, palyatif bakım üniteleri için müzikle tedaviye uygun doğal akustik koşulları sağlayan hasta odalarının mimari akustik tasarımı için gerekli ölçütleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Müzikle tedavi, palyatif bakım ünitesi, mimari akustik, hastane yapıları.

ARCHITECTURE, MUSIC AND THERAPY: PALLIATIVE CARE PATIENT ROOMS

ABSTRACT

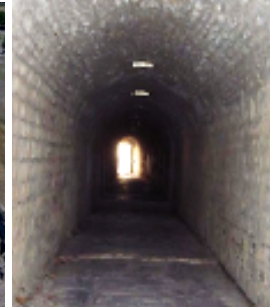
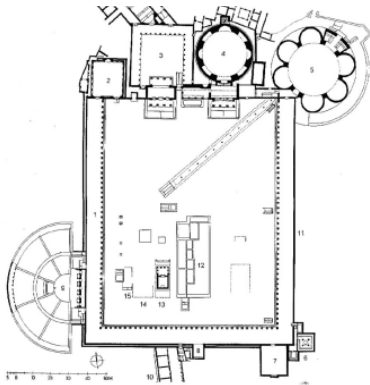
Hospitals have been structures where music has been actively used in the treatment process since the first known architectural examples, ‘Asclepeions’, until today. In the process between the 4th c. BC and the 21st c., musical treatment environments have been reduced to a method where the effectiveness of the architectural volume has gradually decreased, the relationship between music and medical treatment has been reduced to a method where only the changes on the patient and the source of music are based on scientific data. Otherwise, ‘architectural acoustics’, which is at the intersection of architecture and music, is an important design parameter for hospital departments where music therapy is a part of the treatment. In this context, ‘Palliative Care Units’ are building sections that have different design requirements and need to be developed when considering building physics issues. This study aims to determine the necessary criteria for the architectural acoustic design of patient rooms that provide natural acoustic conditions suitable for music treatment for palliative care units.

Keywords: Music therapy, palliative care unit, architectural acoustics, hospital buildings.

1. GİRİŞ

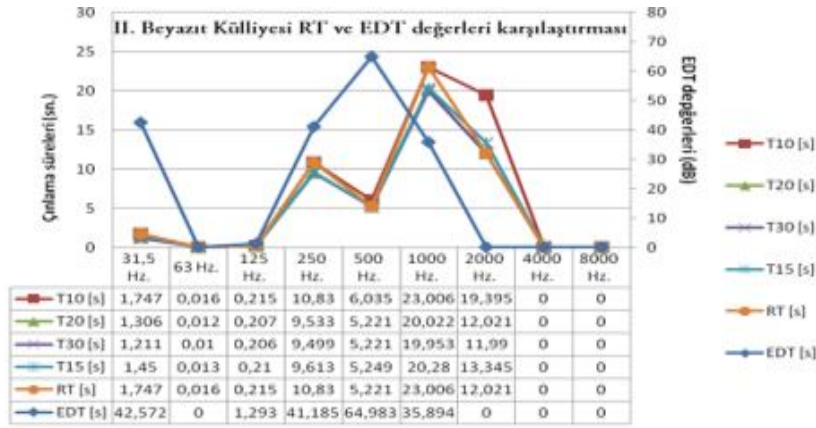
Palyatif bakım servisi hastanelerin, yaşamı tehdit eden hastalıklara karşı hastanın ve hasta yakınlarının içinde bulundukları şartları kolaylaştırmak üzere yaşam kalitesini arttırmaya yönelik olarak, yatıştırıcı sağlık hizmetleri veren bölümdür [1]. İlaçla tedavi yöntemlerinin yanı sıra alternatif tedavileri de kapsayan bu mekânda müzikte kendine önemli bir yer bulur. Müzik terapisinin hastalık semptomları ile ilişkisi hakkında yapılan çalışmada palyatif bakım hastalarına dinletilen Türk musikisinin ağrı, kaygı, konfor ve fonksiyonel kapasite üzerinde ve yaşam bulguları kontrolünde etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır [2].

Palyatif bakım servisleri, ilk örneklerinin hospisler olduğu kabul edilse de bu coğrafyamızın mimari yapılarını oluşturan ‘ilk hastane kompleksi’ Asklepeionlar, Selçuklu Bimarhaneleri ve Osmanlı Darüşşifaları palyatif bakım servisleri ile benzer tedavi yaklaşımları ile hizmet veren yapılar olmuştur. Bu kapsamda bilinen en önemli örnekleri Bergama Asklepeion’u ve Edirne Şifahanesi olmaktadır. Asklepeionlarda da palyatif bakım ünitesinde olduğu gibi hastanın ruh sağlığını iyileştirmek amacıyla bölümler bulunmaktaydı: Bir gösteri alanı olan ‘Antik Yunan tiyatrosu’, tonoz çatı örtülü doğal aydlatma açıklıkları olmayan uzun koridorlar, ‘kutsal yol’, uyku odaları, büyük kubbe altında yer alan ana tedavi bölümü bulunmaktadır. Asklepeion planlarında karşımıza çıkan bu durum, mimari tasarımın ilk andan itibaren tedavinin önemli bir parçası olduğunu göstermektedir.



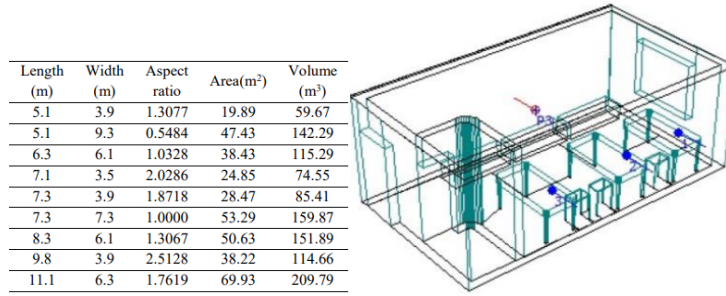
Şekil 1. Bergama Asklepeion’u [3]

Yapı fiziği konusunda palyatif bakım servisleri için bir örnek teşkil edebilecek bir diğer çalışma, Edirne Darüşşifa’sının incelemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Evliya Çelebi seyahatnamelerinden edinilen bilgiye göre, yatan hastalar için, şifahanenin merkezindeki büyük kubbenin altında bulunan alanda sazandelerin ve hanendelerin haftanın 3 günü gerçekleştirdiği müzik icrasıyla, müzikle tedavi uygulandığı bilinmektedir [4]. 2.Beyazıt Külliye’sinin, şifahane bölümü, dönemin mimari anlayışını da yansıtacak şekilde büyük bir kubbe altında ortak bir alanın olduğu, merkezde su ögesi olan bir fiskiyenin yer aldığı ve etrafını çevreleyen hasta odalarının bu merkeze yöneldiği bir plana sahiptir [5]. Müzikle tedavi sürecinde, sesler, kubbenin merkezinde toplanmakta ve kubbeyi çevreleyen mimari süslemeler, mukarnaslar, merkezde toplanan sesler için ortaya çıkabilecek odaklanma sorunlarını azaltmakta olumlu etki etmiştir. Bu örnekte olduğu gibi hacmin biçimlenişi ve mekânı oluşturan yapısal elemanlar, mimari akustiğe önemli ölçüde katkı sağlamaktadır [6].



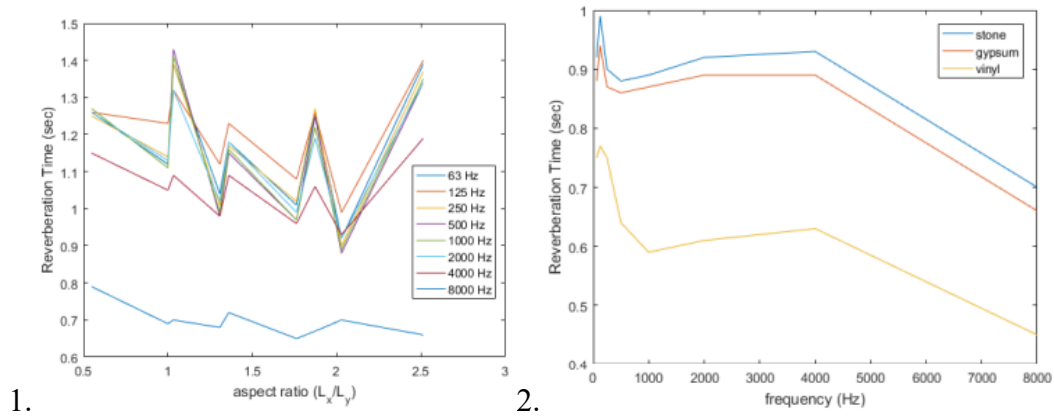
Şekil 2. Altıgen planlı müzikle tedavi alanında büyük kubbe altında kalan hacmin geometrisine bağlı olarak ortaya çıkan RT- EDT değerleri [5]

Edirne Darüşşifası RT ve EDT değerleri incelendiğinde düşük yansıma süresine sahip olmasına karşın, kubbenin ve hacmin geometrisinin etkisiyle erken düşme süresi uzamaktadır.



Şekil 3. 3 Yataklı hasta odası farklı oda boyutları [7]

Hastane odaları akustik özellikleri üzerinde geometri ve malzemenin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada farklı oda boyutları yansıma süresi kontrol edilerek, 7,1m/3,5m oda boyutlarının en uygun olduğu ifade edilmiştir. Uygun oranlara sahip odanın yansıma süresi duvar yüzeylerinde taş-alçı ve vinyl olmak üzere 3 farklı malzeme ile tekrar hesaplanmıştır.



Şekil 4. Farklı oda oranlarına (1) ve farklı yüzey gereçlerine (2) göre yansıma süresi eğrileri [7]

Şekil 4'te yer alan çalışma sonucunda en boy oranı 2,02 olan ve vinil yüzeylerin kullanıldığı hasta odasının en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

Palyatif bakım servisleri müzikle tedavi amaçlı hasta odalarının akustik tasarımlarına yönelik olarak yapılan çalışmada akustik parametrelerinin belirlenmesinde alternatif mimari mekân kurgularının oluşturulması, bunların oda oranları ve yansıma süresinin belirlenmesi önemli öncüller olmuştur. Alternatif tasarımların oluşturulmasında mekânın kullanıcısıyla ilişkisinden yararlanılmıştır. Buna göre kullanıcı-palyatif bakım ünitesi ilişkisinin ve kullanıcıların bu hastane bölümünden beklentilerinin tespit edildiği bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm sonucunda, palyatif bakım ünitesi kullanıcıları olan hastane çalışanlarının, refakatçilerin, kısa ve uzun süreli hastaların hastane odalarından ve palyatif bakım servisleri mimari mekânından beklentileri belirlenmiştir. Kullanıcılar çoğunlukla odaların hasta ve refakatçi için ayrı bölümlerden oluşmasını tercih etmekte, tıbbi cihazların kolay ulaşılabilir olacak şekilde saklanması gerektiğini düşünmektedir. Palyatif bakım ünitesinin zemin katta bahçe ile bağlantılı olması gerektiği, odalarda ağırlıklı olarak su ve kuş sesi gibi doğa sesleri ile müzik terapisinin uygulanmasının tercih edildiği görülmüştür. Elde edilen bu verilerle beraber mevcut hastane palyatif bakım servisleri planları incelenmiştir.



Şekil 5. Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi palyatif bakım ünitesi kat planı ve Turgutlu Devlet Hastanesi 1.kat planı ve palyatif bakım ünitesi(sağda) [6]

Keskin mimari çizgilere sahip hastane planları olduğu gibi farklı mimari tasarımları olan hastane örnekleri de vardır. Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi palyatif bakım servisi, plan düzleminde dairesel olarak görülsede, ölçek nedeniyle hasta odalarında belirgin bir biçimde algılanmayacak, bir duvarı genişleyen ‘yamuk’ planlı; amorf planlı odalar olarak değerlendirilebilir. Turgutlu Devlet Hastanesi servisinde ise hasta odaları mevcutta dikdörtgen planlı olarak geniş dış duvara yaslı olarak sıralanmış; hemşire odası, danışma ve teknik birimler dar iç yüzeyde çözümlenmiştir.



Şekil 6. Turgutlu Devlet Hastanesi hasta odası [6]

Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası plan tipleri bu örnekler doğrultusuna, dikdörtgen planlı ve amorf; 1 kullanıcılı; hasta ve refakatçi bölümü ayrılmış, 2 ve 4 kullanıcılı hasta odaları oluşturulmuştur. Amorf planlı odalar için, bir yüzeyi dış bükey olan ve eğimli tavanlı planlar oluşturulmuştur. Mevcut hastane tasarımlarına uyumlu, akustik kusurları en az olacak ve kullanılabilir oda tasarımları olması istenmiştir.

2. HASTA ODALARININ AKUSTİK TASARIMI İLE İLGİLİ ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE KAPSAMI

Palyatif bakım servislerinde daha çok duygusal rehabilitasyon için uygulanan müzik dinletileri yerine, müzik tedavisi uygulanan özellikli hasta odaları, hastane planlamasının yapıldığı ilk aşamadan itibaren tasarlanırsa, bu yapıların varoluş amaçlarına gerçekçi bir katkı sağlayacaktır. Çalışma kapsamında, belirli boyut oranlarına ve farklı tefriş düzenlerine sahip odaların akustik modelleri oluşturularak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve böylece tasarımcılara yol gösterebilecek bulgular elde edilmiştir.

Bu çalışmada müzik terapisinin tedavinin bir parçası olduğu hasta odaları için örnek plan tipleri oluşturularak bu hacimler için optimum yansıma süreleri belirlenmiş ve bu yansıma sürelerini sağlayabilecek yüzey gereçleri önerilmiştir. Ayrıca, oda boyutları gereği öz-frekansların denetlenmesi de önem taşıdığı için hacim boyutlarının yanıt eğrisine etkileri de incelenerek bu hacimlerde uygun işitsel konforu sağlayabilecek mimari öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır. Akustik simülasyon programlarının kullanılmasıyla akustik parametreler hesaplanmış ve kabul edilebilir değerler açısından değerlendirilerek hasta odalarının müzikle tedavi işlevli akustik tasarımlarıyla ilgili öneriler sunulmuştur.

Mimari mekânın NC15 fon gürültüsü eğrilerini sağladığı varsayılmış, müzik tedavisinin ses sistemi aracılığı ile uygulandığı odalar olduğu kabul edilmiş ve kullanılacak olan elektronik sistemler çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. 5 farklı palyatif bakım ünitesi hasta odası tipi literatür verilerinden yararlanılarak bu çalışmaya özgü olarak olası farklı seçenekleri yansıtmak üzere üretilmiştir. Müzikle tedavi uygulanacak hasta odası, oda oranları Amroc akustik programı yardımı ile Bolt alanı sınırları içinde tasarlanmış, Optimum oda oranları ve düzgün yansıma süresi eğrileri elde edilen hasta odalarının Odeon V 9.2. Simülasyon programı aracılığı ile akustik parametre değerleri ortaya konmuştur.

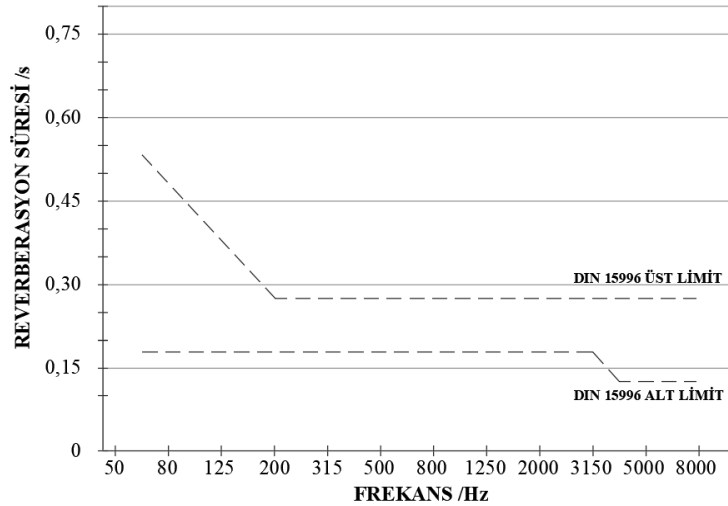
3. MÜZİKLE TEDAVİ UYGULANAN HASTA ODALARI

Çalışma kapsamında hasta odaların yüzey gereçleri, steril ve kir tutmayan malzemeler arasından seçilmiş, akustik tasarım yönü ile ilk durumda tüm oda tipleri için aynı malzemeler;

duvarları ince sıvalı, tavanda kir tutmayan asma tavan paneli ve zeminde seramik karo tercih edilmiştir. Ancak ilk durumda belirlenen yüzey gereçleri yutuculuk değerleri optimum yansıma süresi uygun değer aralığında yer almadığı için çalışma, odalara yüzer tavan paneli ve yutucu yüzeyler ilave edilmesi ile tekrarlanmıştır. Son durumda ilave edilen yüzey gereçleri odaların yüzey alanları farklı olduğu için farklı miktarlarda olmaktadır. Bu sebeple optimum akustik değerlere ulaşılırken oda tipleri arasında, kullanılan malzemelerin akustik etkisini karşılaştırmayı mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle yüzey gereçlerinin tasarıma etkisi göz ardı edilerek, müzikle tedavi işlevli palyatif bakım ünitesi hasta odalarının, farklı geometrik hacimli odalar için oda oranları ve optimum yansıma süresi belirlenmiş ve buna bağlı olarak akustik parametreleri değerlendirilmiştir.

4. HASTA ODALARININ AKUSTİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE SİMÜLASYONLAR

Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım ünitesi hasta odaları tasarımına başlarken ilk olarak mimari hacmin en, boy ve yükseklik oranlarının, mekânın akustik özellikleri için en uygun değerleri sağladığı kontrol edilmelidir. Bu çalışmada odaların optimum akustik parametre değerlerini sağlaması için geometrik oranları 'Bolt alanı' sınırları içinde belirlenmiştir. Sonraki aşamada odaların uygun yansıma süresi değer aralığı belirlenmiştir. Palyatif bakım ünitesi müzikle tedavi amaçlı odalarının yansıma süresi aralığı müziği tıpkı bir ses stüdyosu gibi işleyerek aktarması hedeflenmiş ve buna bağlı olarak DIN-15996-Stüdio akustik standardı limit aralığı baz alınmıştır. Aynı zamanda bu mimari mekân uzun süreli hastalara ve refakatçilerine zaman içinde bir ev haline gelmektedir; müzikle tedavi hizmeti de verecek olan bu yaşam alanı akustik olarak 'ev ortamı', samimilik hissini de vermesi beklenmektedir.



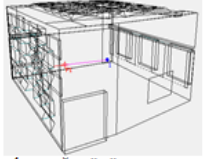
Şekil 7. DIN 15996-Stüdio Standardı limit değerleri [8]

Ses kayıt stüdyoları akustik tasarımlarında olduğu gibi palyatif bakım hasta odalarının:

- gürültüden yalıtılmış olması,
- vurgusal yankı ve renklenme gibi akustik kusurların önlenmiş olması,
- yutucu ve saçıcı özellikte yüzey alanların yeterli miktarda olması,
- optimum yansıma süresine sahip olması ve
- yansıma süresi grafiğinin düzgün olması önemlidir.

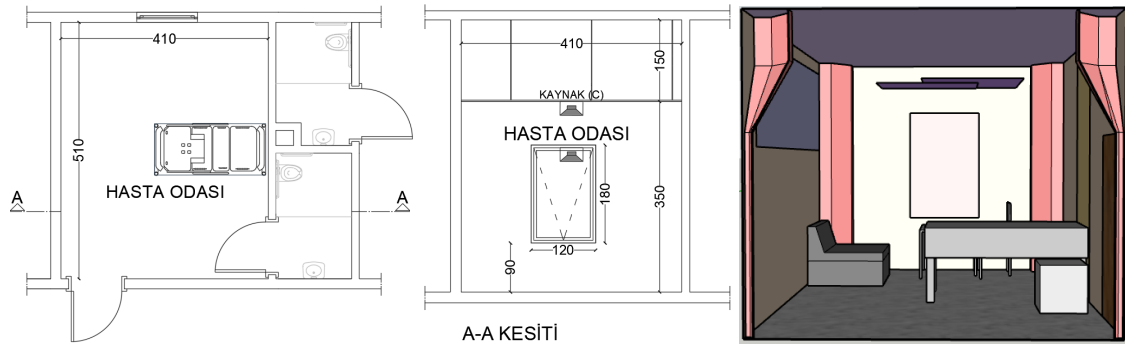
Uygun yansıma süresi değer aralığına göre palyatif bakım ünitesi hasta odalarının optimum akustik parametre değerleri Tablo 1’de yer alan ‘ev’ ve ‘stüdyo’ örnek akustik parametreleri çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Mekân türüne göre akustik parametreler için optimum değerler¹[6]

Mekan Türü	RT(s)	EDT(s)	SPL(dB)	C ₈₀ (dB)	D ₅₀	Ts(ms)	LF ₈₀	SPL(A)	LG80	STI	MEKAN-KAYNAK-ALICI
Ev/Yaşam Alanı 50-100m ³	0-0,5sn	0,2-0,5sn	35-50dB	>+3dB	>0,5 sn	<80ms	0,3-0,6 sn	35-45 dB(A)	1-1,2	>0,6	Kuttruff, ISO 3382, WHO, Beranek, Barron, ISO 1996, IEC 60268-16 Ses kaynağı gücü; 60-85dB.
Ses Kayıt Stüdyosu (ODEON PTB Stüdyo) 419m ³	0,509sn	0,96sn	89,4 dB	13 dB	0,56sn	67ms	0,3	86,3 dB	74 dB (0,85)	0,63	 Ses kaynağı gücü; BB93_NORMAL_NATURAL. SO8, 103,1dB ve 99,4 dB(A).

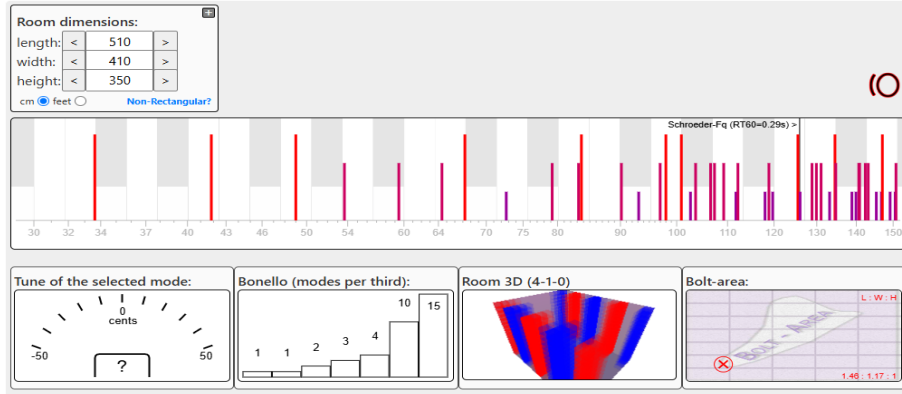
4.1. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası tip tasarımı 1

Birinci tip tasarım ünite odası; 1 hasta ve 1 refakatçi olmak üzere 2 alıcı olacağı öngörülen dikdörtgen planlı, düzgün geometrik hacimli hasta odası olarak belirlenmiş olup ölçüleri L:510cm, W:410cm ve H:350cm’dir.



Şekil 8. Palyatif bakım ünitesi hasta odası tasarımı 1[6]

¹ Ev yaşam alanı için tabloda yer verilen standartlara göre optimum değerler, palyatif bakım ünitesi için Odeon V 9.2. programı içerisinde yer alan stüdyo modeli analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

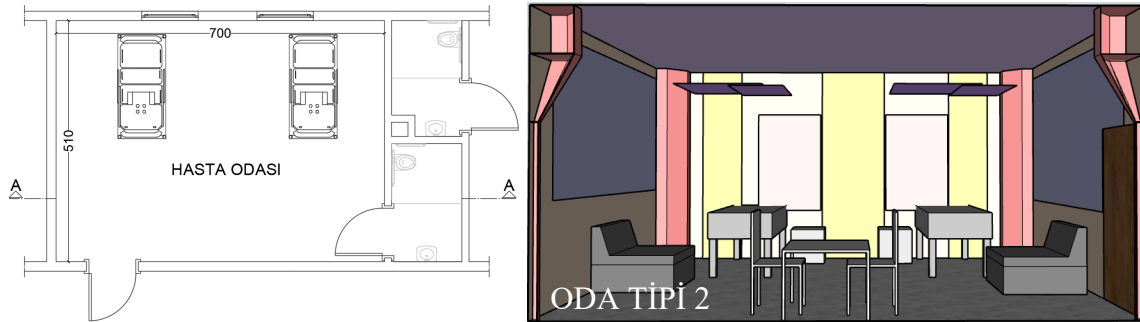


Şekil 9. Oda tipi 1 öz frekansları ve Bolt alanı içindeki yeri [6]

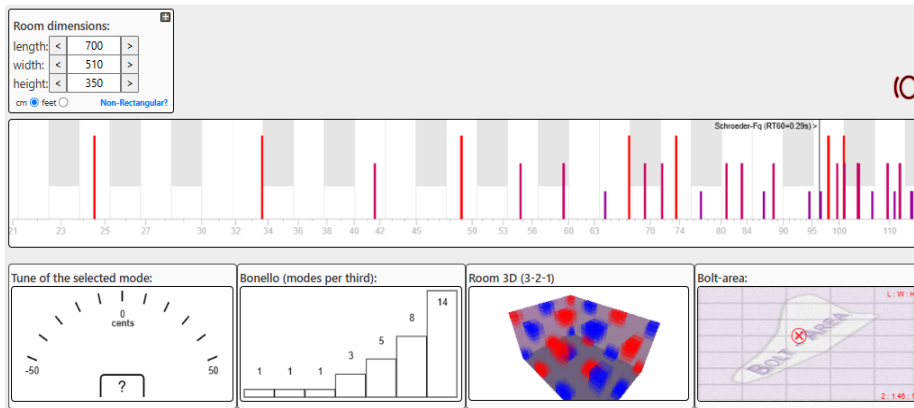
Oda tipi 1'in DIN 15996-Studio standartlarına göre 33.63Hz ve 150.8Hz frekans aralığında 46 adet öz frekansı vardır ve oda oranları Bolt alanı içerisindedir ancak Şekil 9'da görüldüğü gibi alçak frekanslarda sahip olduğu öz frekanslar nedeniyle belirgin renklemeler olacaktır.

4.2. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası tip tasarımı 2

İkinci tip tasarım ünite odası; 2 hasta ve 2 refakatçi olmak üzere 4 alıcı olacağı öngörülen dikdörtgen planlı hasta odası tipi için belirlenen oda ölçüleri L:700cm, W:510cm ve H:350cm'dir.



Şekil 10. Palyatif bakım ünitesi hasta odası tasarımı 2 [6]

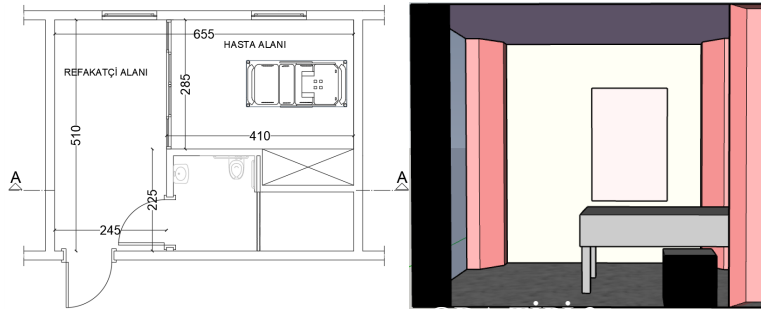


Şekil 11. Oda tipi 2 öz frekansları ve Bolt alanı içindeki yeri [6]

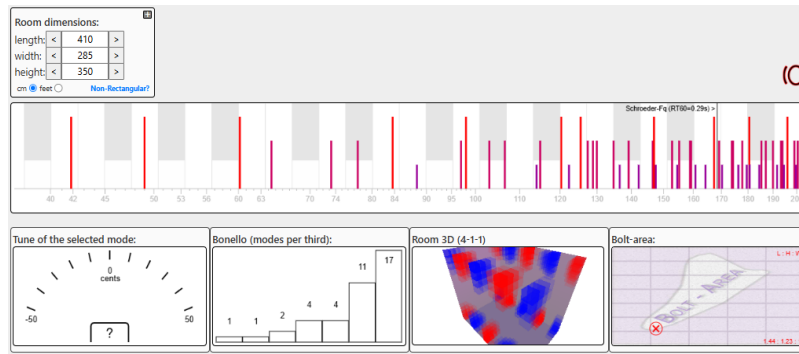
Oda tipi 2'nin DIN 15996-Studio standartlarına göre 24.5Hz ve 114.8Hz frekans aralığında 38 adet öz frekansı vardır ve oda oranları Bolt alanı içerisinde olup ancak Şekil 11'de görüldüğü gibi alçak frekanslarda sahip olduğu öz frekanslar nedeniyle belirgin renklenmeler olacaktır.

4.3. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası tip tasarımı 3

Üçüncü tip tasarım ünite odası; 1 kullanıcılı hasta alanı oda ölçüleri L:410cm, W:285cm ve H:350cm'dir. 1 kullanıcılı refakatçi alanı oda ölçüleri L:510cm, W:245cm ve H:350cm'dir.



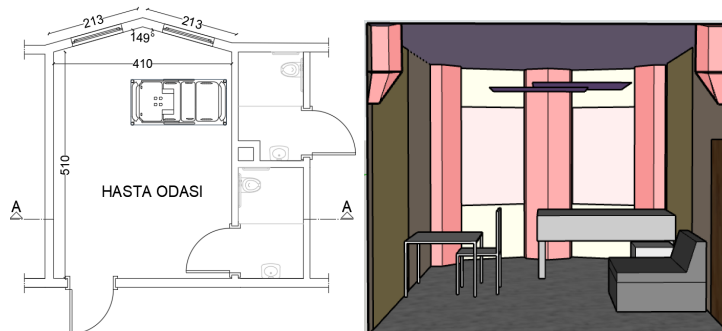
Şekil 12. Palyatif bakım ünitesi hasta odası tasarımı 3 [6]



Şekil 13. Oda tipi 3 öz frekansları ve Bolt alanı içindeki yeri [6]

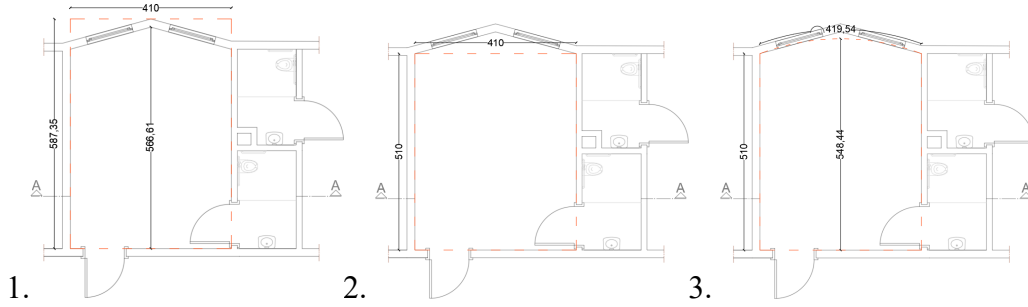
Oda tipi 3'ün DIN 15996-Studio standartlarına göre 41.83Hz ve 202.43Hz frekans aralığında 57 adet öz frekansı vardır ve oda oranları Bolt alanı içerisinde olup ancak Şekil 13'te görüldüğü gibi alçak frekanslarda sahip olduğu öz frekanslar nedeniyle belirgin renklenmeler olacaktır.

4.4. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası tip tasarımı 4

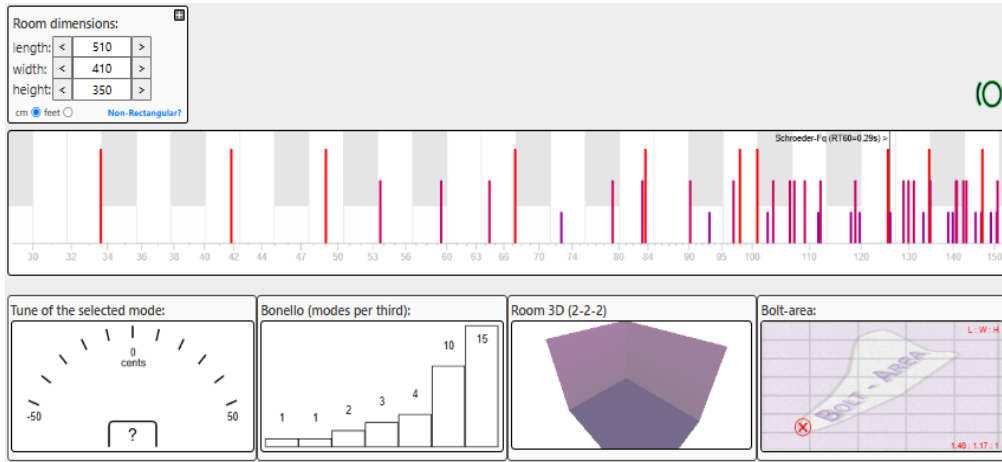


Şekil 14. Amorf planlı hasta odası [6]

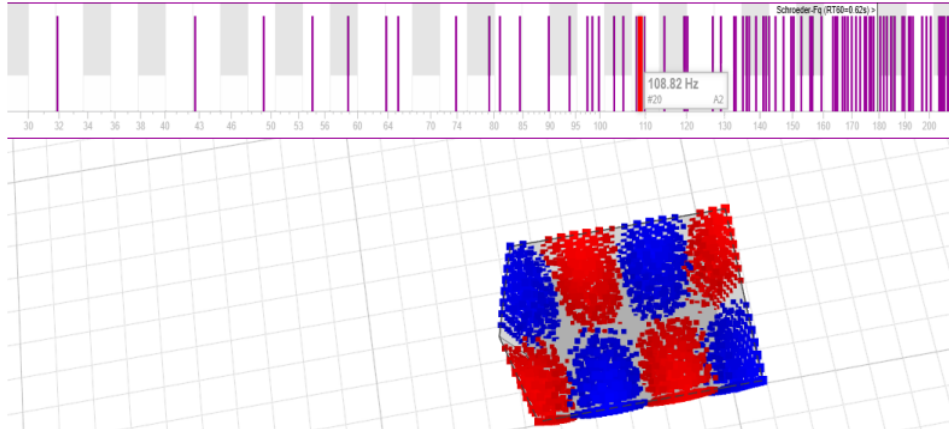
Dördüncü tip tasarım ünite odası; 1 hasta ve 1 refakatçi olmak üzere 2 alıcılı, bir duvar yüzeyi dış bükey amorf planlı hasta odasıdır. Hacimlerin mimari akustik tasarımlarda etkili olan oda oranları en/boy/yükseklik olmak üzere 3 boyutu arasındaki oranın kontrol edilmesi ile incelenebildiği için amorf hacimli 4. te 5. hasta odası tasarımlarında oda boyutları düzgün geometrik hacimlere tamamlanarak kontrol edilmiştir. Şekil 15’te gösterilen, 1. amorf hacmin dikdörtgen prizmaya tamamlanan dış ölçüleri, 2. amorf hacmin dikdörtgen prizmaya tamamlanan iç ölçüleri ve 3. Amorf hacmin en geniş noktasından dikdörtgen prizmaya tamamlanan ölçüleri baz alınarak oda oranları kontrol edilmiştir. Her üç durumda da yaklaşık geometrik hacimler Bolt alanı içerisinde yer almaktadır.



Şekil 15. Hacmin geometrisine göre oluşturulan 3 hacim ve ölçüleri [6]



Şekil 16. Amorf planlı hasta odası 2.duruma göre oda oranları ve öz frekansları [6]

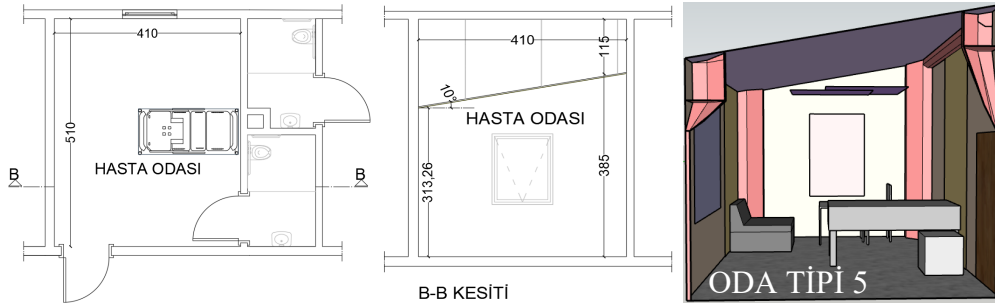


Şekil 17. Oda tipi 4 öz frekansları [6]

Oda tipi 4'ün DIN 15996-Studio standartlarına göre 31.90Hz ve 211.22Hz frekans aralığında 93 adet öz frekansı vardır ve Bolt alanı içerisinde olan hacimlerle benzeri optimum değerlere sahip olduğu söylenebilir.

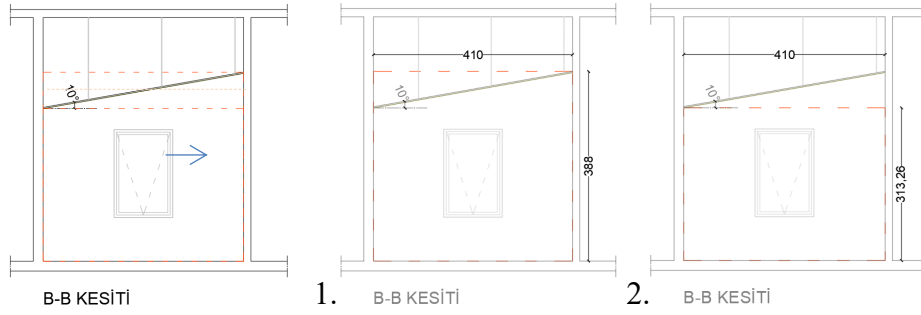
4.5. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odası tip tasarımı 5

Beşinci tip tasarım ünite odası; 1 kullanıcılı hasta alanı oda ölçüleri 1 hasta ve 1 refakatçi olmak üzere 2 alıcı , eğimli tavanlı hasta odası tipi için belirlenen oda ölçüleri L:510cm, W:410cm ve Hort: 351cm'dir.



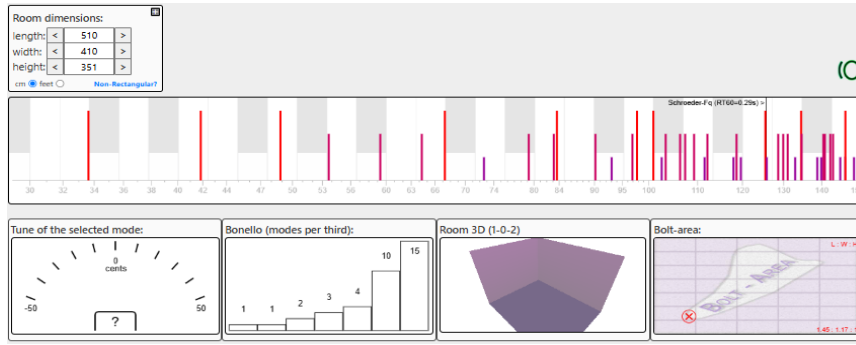
Şekil 18. Dikdörtgen planlı ve tavanı eğimli hasta odası plan ve kesiti [6]

Eğimli tavanlı hasta odasında, oda oranları Şekil 19'da yer alan 1. En yüksek noktadan dikdörtgen prizmaya tamamlanan dış ölçüleri, 2. En alçak noktadan dikdörtgen prizmaya tamamlanan iç ölçüleri ve ortalama yükseklik ölçüleri baz alınarak oda oranları kontrol edilmiştir.



Şekil 19. Oda tipi 5 için oda oranlarının kontrol edilmesi için amorf hacmin tamamlandığı dikdörtgen prizma sınırları [6]

İlk durumda yaklaşık geometrik hacim Bolt alanı dışında, diğer iki durumda yaklaşık geometrik hacimler Bolt alanı içinde yer almaktadır.



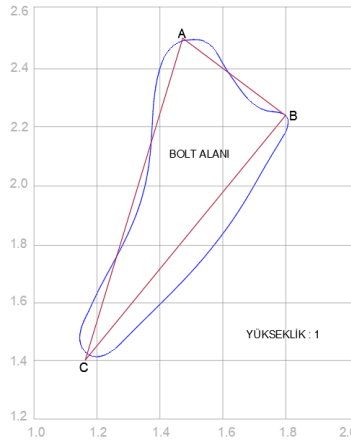
Şekil 20. Eğimli tavanlı hasta odası ortalama yüksekliğine göre oda oranları ve öz frekansları [6]

Oda tipi 5'in, *işitilebilir oda modu başlangıç frekansı* 33,725Hz(F1) ,*oda modlarının etkin olduğu kritik frekans* 79,9 Hz (F2), *işitilebilir oda modu kritik frekansı* 3F2 ile 5F2 aralığında; 237,027Hz -399,5 Hz *olmaktadır*. Oda tipi 5, en küçük rezonans frekansı olan 33,72Hz ve en küçük kritik frekans değeri arasında yer alan en yüksek frekans olan 225,57 Hz aralığında 22 adet öz frekansı vardır. Ortalama yüksekliğe göre eğimli tavanlı hasta odası için akustik tasarım için oda boyutları uygundur ancak oda içinde dar açı ile birleşen tavan ve duvar yüzeyleri arasında akustik önlemler alınmalıdır.

4.6. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odaları ‘oda oranları’

Hacimlerin öz frekans sayıları karşılaştırıldığında, Oda tipi 4 > Oda tipi 3 Hasta alanı > Oda tipi 1 > Oda tipi 2 > Oda tipi 5 olarak sıralanmaktadır. Buna göre oda oranları için şu sonuçlara ulaşılır:

- Hacmin (paralel) yüzey sayısı arttığında öz frekans sayısı artmıştır.
- Hacimlerin l:w:h boyutlarından, l/w oranı arttıkça öz frekans sayısı artmıştır. Oda boyutları ‘Bolt Alanı’ içerisinde olmasına rağmen l/w oranı 1’e yaklaştıkça öz frekans sayısı artmaktadır.



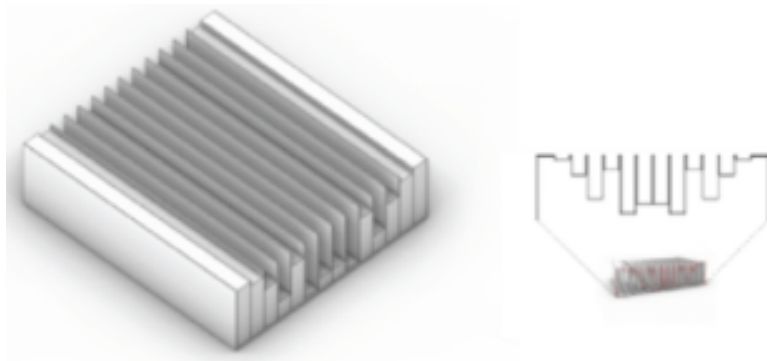
Şekil 21. Bolt alanı uç noktaları A-B-C [6]

Şekil 21'deki Bolt alanı uç noktalarına bakıldığında A (2.52:1.51:1), B (2.24:1.82:1), C (1.48:1.16:1) ve l/w oranları sırası ile 1,66, 1,23 ve 1,27 olmaktadır. Bolt alanı ideal oranları [9] '2.5:1.5:1, 1.59:1.26:1', l/w oranı sırasıyla 1,66 ve 1,26'dır. Bu değerler ile karşılaştırıldığında tasarlanacak odaların kenar uzunlukları arasında $1,66 \geq l/w \geq 1,23$ oranı sağlanırsa oda modları ve oda akustiği daha dengeli olacaktır.

- Oda oranları, hacim içerisinde eğimli bir tavan kullanılarak değişken yüksekliğe sahip olması ve yüzey paralelliklerinin bozulması ile öz frekans sayısı değiştirilebilir; alçak frekanslarda renklemelere sebep olacak öz frekans sayısı azalırken oda öz frekans sayısı artar ve hacmin yanıt eğrisi düzgünleşir.

4.7. Müzikle tedavi amaçlı palyatif bakım hasta odaları yüzey gereçleri ve yansıma süreleri

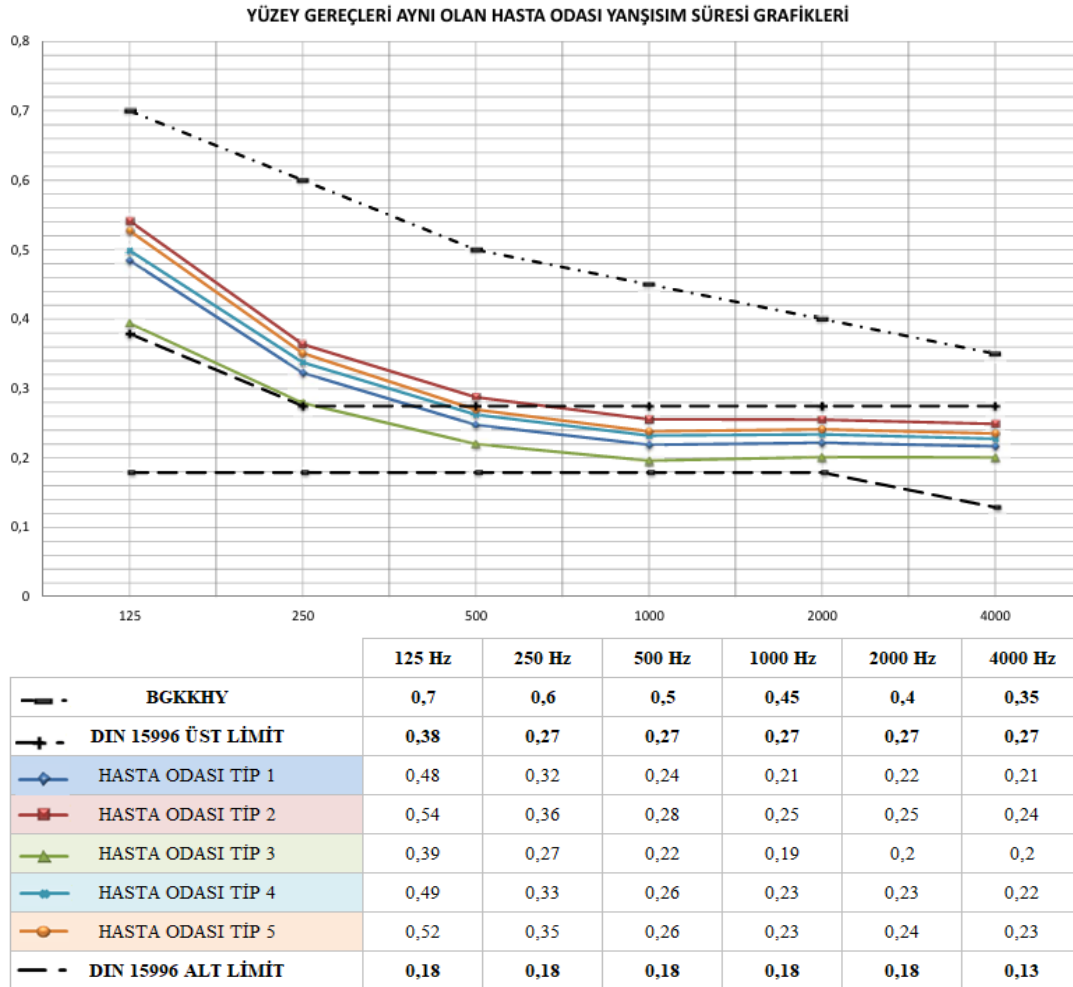
Odaların mevcut yüzey gereçleri akustik yapı malzemesi kataloglarından, Odeon program kütüphanesinden ve Yapı Fiziği 1 kitabından, akustik gereksinimlerine uygun olarak seçilmiştir. Mimari tasarım çözümlerinde geometrik hacimlerinde ortaya çıkabilecek renklemeye sorunu çözümü olarak baz tuzağı kullanılması önerilmektedir. 5.tasarımda olduğu gibi geometrik hacim nedeniyle oluşabilecek akustik kusurlara yönelik olarak simülasyon çalışmasında hacmin rezonans frekans bölgeleri olan köşelerine bas tuzakları yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hasta odalarının köşe birleşimlerinde 'Schröder Qdr 1' bas tuzağı, duvar ve tavanlarda yüksek yutucu akustik paneller kullanılmıştır.



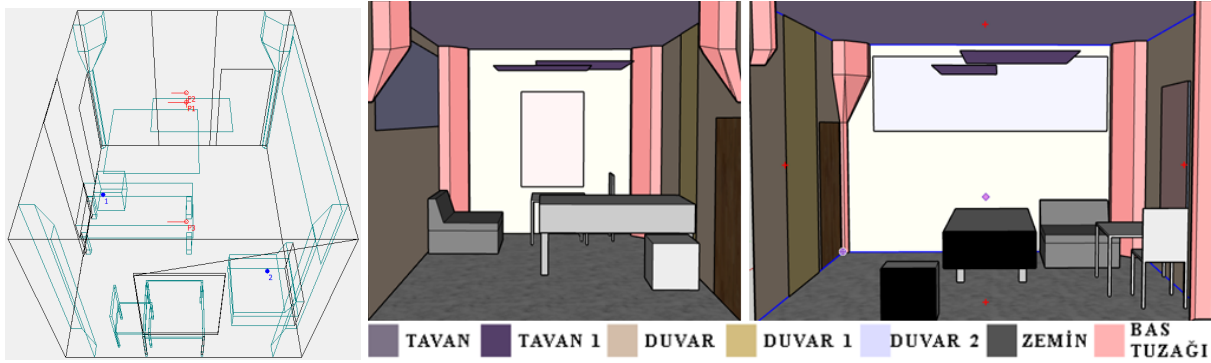
Şekil 22. Schröder QDR 1 dağıtıcı modeli [10]

Tablo 2. İlk durumda tüm oda tasarımları için kullanılan yüzey gereçleri [6]

HASTA & REFAKATÇI	Karışık Dinleyici
HASTA YATAĞI	Kapitone
REFAKATÇI KOLTUĞU	Audience Medium Upholstered
TEFRİŞ	Masa, sandalye, komidin
TEFRİŞ 2	Kumaş perde
TAVAN	Delikli İroko Panel
DUVAR	25 mm Yüzeyi sıkıştırılmış siva
DÖŞEME	Çeşitli Döşeme Karoları
PENCERE	Normal Pencere Camları
KAPI	Ahşap Kapı

**Şekil 23.** Yüzey gereçleri aynı olan palyatif bakım hasta odaları frekanslara göre yansıma süresi grafikleri

Yüzey gereçleri aynı olan palyatif bakım servisi hasta odalarının yansım süreleri ‘Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’ sınır değerleri altında yer alırken, düşük frekanslarda DIN Stüdyo yansım süreleri limit değerleri üzerinde olmaktadır. Çalışma düşük frekanslarda yüksek yutucu etki değerine sahip farklı yüzey gereçleri ile tekrarlanmıştır.



Şekil 24. Akustik modellemede kullanılan yüzey gereçleri

Oda mimari planlarına göre duvar yutucu yüzeyleri alıcı olan hastanın arkasında ve önünde bulunan duvarlara ve solundaki duvara olmak üzere 3 yönde, tüm odalarda asma tavan paneli kullanılmıştır. Tavan 1 yutucu gereci tek kullanıcılı ve diğer odalara oranla daha küçük hacimli olan oda tipi 3 haricinde tüm odalara yüzer tavan paneli olarak ilave edilmiştir.

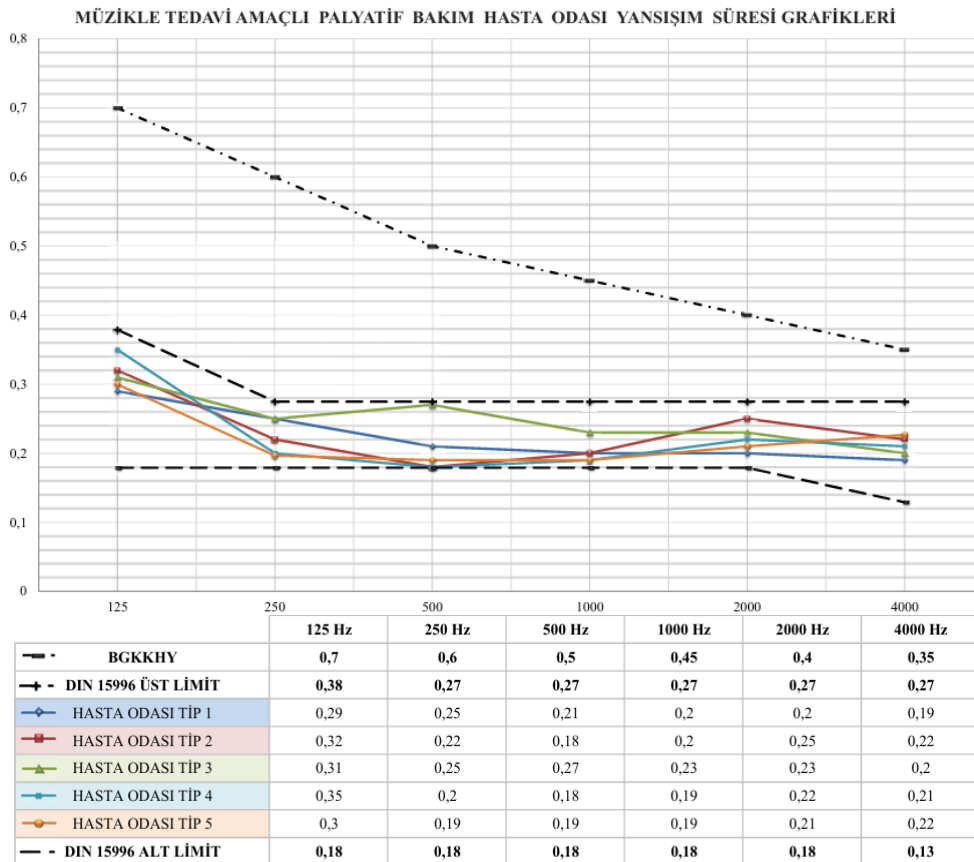
Tablo 3. Odeon V 9.2.simülasyonunda eklenen ve tercih edilen yüzey gereçleri

HACİM İÇİNDEKİ YÜZEYLER/ ODALAR	ODA TİPİ 1	ODA TİPİ 2	ODA TİPİ 3	ODA TİPİ 4	ODA TİPİ 5
<i>Hasta Yatağı</i>	Kapitone	Kapitone	Kapitone	Kapitone	Kapitone
<i>Refakatçi Koltuğu</i>	Audience Medium Upholstered	Audience Medium Upholstered	-	Audience Medium Upholstered	Audience Medium Upholstered
<i>Tefriş 1</i>	Masa, Sandalye, Komidin.	Masa, Sandalye, Komidin.	-	Masa, Sandalye, Komidin.	Masa, Sandalye, Komidin.
<i>Tefriş 2</i>	Kumaş Perde.	Kumaş Perde.	Kumaş Perde.	Kumaş Perde.	Kumaş Perde.
<i>Tavan</i>	Delikli İroko Panel	Delikli İroko Panel	Delikli İroko Panel	Delikli İroko Panel	Delikli İroko Panel
<i>Tavan 1</i>	100 mm Taş Yünü Panel(2323)	50mm Fiberglas panel	-	100mm Mineral Yün Panel (2323)	100mm Mineral Yün Panel
<i>Duvar</i>	25 Mm Yüzei Sıkıştırılmış Sıva	25 mm Yüzei Sıkıştırılmış Sıva	10mm Mineral Elyaf Panel (2068)	25 mm Yüzei Sıkıştırılmış Sıva	25 mm Yüzei Sıkıştırılmış Sıva
<i>Duvar 1</i>	Lignoform Mikro-perfore Panel (2445)	Lignoform Mikro-perfore Panel (2440)	Shröder Qdr 1	Alüminyum Mineral Yün Panel (2101)	Alüminyum Mineral Yün Panel
<i>Duvar 2</i>	Delikli Akustik Panel	Delikli Akustik Panel	-	Delikli Akustik Panel	Delikli Akustik Panel
<i>Duvar 3</i>	50 mm Ahşap Yünü(1103)	-	-	-	-
<i>Bas Tuzağı</i>	Shröder Qdr 1	Shröder Qdr 1	-	Shröder Qdr 1	Shröder Qdr 1
<i>Döşeme</i>	Çeşitli Döşeme Karoları	Çeşitli Döşeme Karoları	Ahşap Kaplama (2020)	Çeşitli Döşeme Karoları	Çeşitli Döşeme Karoları
<i>Pencere</i>	Normal Pencere Camları	Normal Pencere Camları	Çift cam 2-3mm cam (602)	Normal Pencere Camları	Normal Pencere Camları
<i>Kapı</i>	Ahşap Kapı	Ahşap Kapı	-	Ahşap Kapı	Ahşap Kapı

Tablo 4. Odeon V 9.2.simülasyonunda eklenen ve tercih edilen yüzey gereçleri yutma çarpanları² [11]

YÜZEY MALZEMESİ	α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}
Karışık Dinleyici	0,23	0,33	0,38	0,38	0,39	0,39
Kapitone	0,1	0,3	0,35	0,45	0,5	0,4
Audience Med. Upholstered	0,62	0,72	0,8	0,83	0,84	0,85
Masa, Sanadalye, Komidin	0,1	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
Kumalye	0,04	0,06	0,1	0,2	0,3	0,4
Delikli İroko Panel	0,15	0,22	0,15	0,1	0,14	0,16
25 mm Yüzeyi Sıkıştırılmış Sıva	0,25	0,4	0,6	0,7	0,65	0,65
Çeşitli Döşeme Karoları	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04
Normal Pencere Camları	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Ahşap Kapı	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07
100 mm Taş Yünü Panel 2323	0,58	0,69	0,96	0,97	0,99	0,91
50 mm Ahşap Yünü Levha 1103	0,08	0,17	0,35	0,45	0,65	0,65
50mm Fiberglas Panel	0,18	0,76	0,99	0,99	0,99	0,99
Lignoform Delikli Akustik Panel 2440	0,82	0,72	0,54	0,64	0,77	0,84
Lignoform Delikli Akustik Panel 2445	0,63	0,64	0,49	0,4	0,59	0,53
10mm Mineral Elyaf Panel 2068	0,1	0,1	0,24	0,5	0,7	0,93
Ahşap Kaplama 2020	0,15	0,11	0,07	0,07	0,06	0,07
Çift Cam 602	0,15	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02
Mineral Dolgulu Alüminyum Levha	0,29	0,29	0,44	0,51	0,63	0,41

3 boyutlu modeli oluşturulan odaların Odeon V 9.2. simülasyonunda elde edilen akustik verilerine göre yansıma süresi eğrileri Şekil 25'te görüldüğü gibi optimum aralıktadır ve oktav frekanslarda dengeli bir değişim göstermektedir.

**Şekil 25.** Akustik modelleme sonuçlarına göre hasta odalarının yansıma süresi grafikleri

² Odeon V 9.2. Simülasyon Programı malzeme kütüphanesi ve çeşitli malzeme kataloglarından derlenmiştir.

Akustik modelleme sonucunda elde edilen hasta odaları yansıma süresi eğrileri frekanslara göre düzgün değişmekte ve DIN Stüdyo limit değerleri arasında yer almaktadır. Yansıma süresine bağlı olarak, Odeon V 9.2. simülasyon programından elde edilen akustik parametre değerleri için, palyatif bakım hasta odaları için baz alındı ‘ev/yaşam alanı akustik parametreleri ve ses stüdyosu akustik parametreleri’ ile karşılaştırıldığında müzik ve tedavi işlevli hasta odaları için uygun değerlerde olduğu söylenebilir.

Düşük yansıma süresinin bir sonucu olarak Netlik(C80), açıklık (D50), erken yanal enerji oranı (LF80), gecikmiş yanal enerji oranı (LG80) ve konuşma iletim göstergesi (STI) stüdyo değerleri üzerinde, ses gücü (SPL) ve A gırlıklı ses gücü (SPLA) ev ve stüdyo değerleri aralığındadır.

Yansıma süresi sonuçları optimum aralık olan $0,12 < R_t < 0,55$ değerleri sağlayan hasta odaları için uygulanabilirlik açısından en az müdahaleyi gerektiren ve kullanıcıların beklentilerini karşılayacak şekilde hasta ve refakatçi bölümünün ayrıldığı hasta odası 3 tasarımı en iyi sonucu vermiştir. Oda akustik tasarımları Tip 3 > Tip 1 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 2 olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Palyatif bakım ünitesi müzikle tedavi amaçlı hasta odası tasarımları parametre değerleri

PALYATİF BAKIM ÜNİTESİ ODA TİPLERİ	RT(sn)	SPL(dB)	C80(dB)	D50(sn)	LF80	SPL(A)(dB)	LG80(dB)	STI
Ev/Yaşam Alanı	0-0,5	35-50	>+3	>0,5	0,3-0,6	35-45	1-1,2	>0,6
Ses Kayıt Stüdyosu	0,509	89,4	13	0,56	0,3	86,3	74dB)	0,63
HASTA ODASI 1	0,23	52,13	25,43	0,975	0,148	64,7	34,15	0,88
HASTA ODASI 2	0,245	48,66	22,73	0,96	0,182	61,2	32,25	0,84
HASTA ODASI 3	0,264	56,36	23,85	0,96	0,165	69,35	41,1	0,91
HASTA ODASI 4	0,226	52,7	25,63	0,97	0,149	64,95	33,25	0,896
HASTA ODASI 5	0,19	51,31	28,25	0,97	0,119	63,25	26,67	0,883
Palyatif Bakım Ünitesi Müzikle Tedavi Amaçlı Hasta Odası Tip Tasarımları	0,12- 0,55	Ev-stüdyo değer aralığında	>Stüdyo	Mükemmel netlik derecesi	< Stüdyo	Ev-stüdyo değer aralığında	< Stüdyo	>Stüdyo

5. SONUÇ

5 farklı palyatif bakım ünitesi hasta odası tasarımı oluşturulan çalışmanın birinci adımında ‘Amroc The Room Mode Calculator’ programı ile oluşturulan tasarımlar uygun oda oranlarında ve Bolt alanı içinde olacak şekilde hesaplanmıştır. Uygun oda oranlarına ve frekanslara göre optimum yansıma süresi değerlerine sahip hasta odaları Odeon V 9.2. simülasyon programında elde edilen akustik parametre değerleri de çalışmanın hedeflediği ev-stüdyo akustik özellikleri ile uygun parametre değerlerinde olmaktadır.

Hastane yapıları akustik tasarımları ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar büyük ölçüde gürültü denetimine yönelik olurken, hacmin akustik tasarımı ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma ile hem müzik işlevli hem de tedavi işlevli palyatif bakım servisleri hasta odaları için kullanıcı sayısı ve plan tipleri farklı 5 tip oda akustik tasarım kurgusu yeni inşa edilecek hastanelerde tasarıma başlarken ve mevcut hastanelerde palyatif bakım servisi entegre edilmesi noktasında bir altık olarak geliştirilmiş; palyatif bakım servisleri özelinde bu tasarımların oda boyutları, yüzey özellikleri ve optimum akustik parametre değerleri belirlenerek literatüre kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Dünya Sağlık Örgütü, “Palliative care,” World Health Organization, 5 Ağustos 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/palliative-care> . [Erişim Tarihi: 15 Mart 2024].
- [2] Düzgün, G. ve Karadakovan, A., “Palyatif Bakım Servislerinde Yatan Hastalara Dinletilen Müziğin Ağrı Düzeyine Etkisinin İncelenmesi; Randomize Kontrollü Bir Çalışma,” T.C. Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıkları Hemşireliği ABD Doktora Tezi, İzmir, 2020.
- [3] T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, “Bergama Asklepion Örenyeri,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://muze.gov.tr/muzedetay?SectionId=ASK01&DistId=ASK> . [Erişim Tarihi: 10 Mart 2025].
- [4] Trakya Gezi Rehberi, “Edirne Sultan II. Bayezid Darüşşifası,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.trakyaagezi.com/edirne-sultan-ii-bayezid-darussifasi/> . [Erişim Tarihi: 14 Mart 2024].
- [5] Bal Koçyiğit, F., “II. Beyazıt Tıp Fakültesinde Akustiğin Mimari Tasarıma Etkisi,” Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, cilt 11, no. 2, ss. 698-716, 2021.
- [6] Kırdar, F.Z., ve İlgürel, M. N., “Palyatif Bakım Servisleri Hasta Odalarının Müzikle Tedavi Amaçlı Akustik Tasarımı,” Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ABD, Yapı Fiziği Bilim Dalı, 2025.
- [7] Salehi, M. ve Salehi, R., “Investigating the effects of geometry and material on acoustic characteristics of hospital rooms,” Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering, cilt 16, no.1, ss.59-67, 2024.
- [8] Roy, A. ve Landgraf J., “Room Acoustic, Sound Insulation Design And Supervision For A Multimodal Measuring Laboratory,” Deutsche Gesellschaft für Akustik (NAG/DAGA), Rotterdam, 2009.
- [9] H. Gunawan ve T. Aditanoyo, “Study of the Effect of Splaying Wall to Modify Acoustic Modes Distribution in Small Room,” Journal of Physics Conference Yayınları 1075 Jakarta, 2018.
- [10] Cocks, R., J. Nguyen ve B. Peters, “Wieringa Surface: The Implementation of Aperiodicity into Architectural Acoustics,” Computer-Aided Architectural Design Uluslararası Konferans Kitabı, ss.190-203, Delft, 5 Haziran 2023. S
- [11] Sirel, Ş., Yapı Akustiği I: Temel Bilgiler, İstanbul, İnkılap ve AKA Basımevi, 1974.
- [12] Melcher, A., “amAcoustic,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://amcoustics.com/> .
- [13] Şahan Uslu, F. ve Terzioğlu, F., “Dünyada ve Türkiye’de Palyatif Bakım Eğitimi ve Örgütlenmesi,” Cumhuriyet Hemşirelik Dergisi, cilt 4, no. 2, ss. 81-90, 2015.
- [14] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmî Gazete, 2017.
- [15] Kumar, S., Ng, R. Q. ve Lee, H. P., “Experimental investigations of acoustic curtains for hospital environment noise mitigations,” 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.researchgate.net/publication/343682270_Experimental_investigations_of_acoustic_curtains_for_hospital_environment_noise_mitigations. [Erişim Tarihi: 5 Nisan 2024].
- [16] Barron, M., “Auditorium Acoustics and Architectural Design”, Spon Press, New York, 2010.

KONUT İÇİ İŞİTSEL PEYZAJ DEĞERLENDİRME ÖLÇEĞİNİN İNGİLİZCEDEN ARAPÇA VE TÜRKÇEYE ÇEVİRİSİ

Abdullah Alkan¹, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu²

¹⁻²Çankaya Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-posta: abduallah98alkan@gmail.com, papatya@cankaya.edu.tr

ÖZET

İşitsel peyzaj öncelikli olarak akustik çevreye ilişkin insan algısına odaklanan bir çalışma alanıdır. Literatürde işitsel peyzajı anlamak ve değerlendirmek için birden fazla yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışma, konut iç mekanlarında İngilizce olarak geliştirilmiş işitsel peyzaj değerlendirme ölçeği kapsamında yer alan sıfatların Arapça ve Türkçe çevirilerini sunmaktadır. Her hedef dil için ayrı bir çeviri ekibi oluşturulmuş, ve literatürde yer alan standart çeviri yöntemleri kullanılmıştır. Çeviri sonuçları ve süreç, her dil için ayrı olacak şekilde birer dilbilim uzmanına onaylatılmıştır. Sonuç olarak, her bir İngilizce sıfat için Arapça ve Türkçe çeviri listesi belirlenmiştir. Bu çalışma, 8 sıfattan oluşan konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinin Arapça ve Türkçe'ye çevrilmesiyle, anketlerin bu dilleri konuşan hedef kitleye daha kolay ulaşmasına ve yapılan çalışmalarda toplanan verilerin tartışılabilirliğine ve karşılaştırılabilirliğine katkı sağlamaktadır. Devam eden çalışmalar kapsamında, ölçeğin dinleme testleri ile güvenilirlik ve geçerlilik analizlerinin yapılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Konut içi işitsel peyzaj, anket, dil çevirisi, Arapça, Türkçe.

TRANSLATING INDOOR RESIDENTIAL SOUNDSCAPE ATTRIBUTES SCALE FROM ENGLISH TO ARABIC AND TURKISH

ABSTRACT

Soundscape is the field of study focusing on human perception of the acoustic environment, rather than focusing on objective parameters only, such as noise reduction. Multiple approaches can be found in the literature on how to understand and evaluate the soundscape. This study provides Arabic and Turkish translations of the indoor residential soundscape perceived affective quality scale proposed and validated originally in English. Two translation teams were formed separately for each desired language, which followed standardized translation procedures. Translation results and overall process were presented and approved by linguistic experts. As a result, each 8 English indoor residential soundscape attribute was assigned an Arabic and a Turkish translation. This study contributed to the literature by translating the indoor residential soundscape scale into Arabic and Turkish, allowing the scale to be widely used and deriving comparable results. Future studies include validation and reliability tests for the translated scales through lab listening tests.

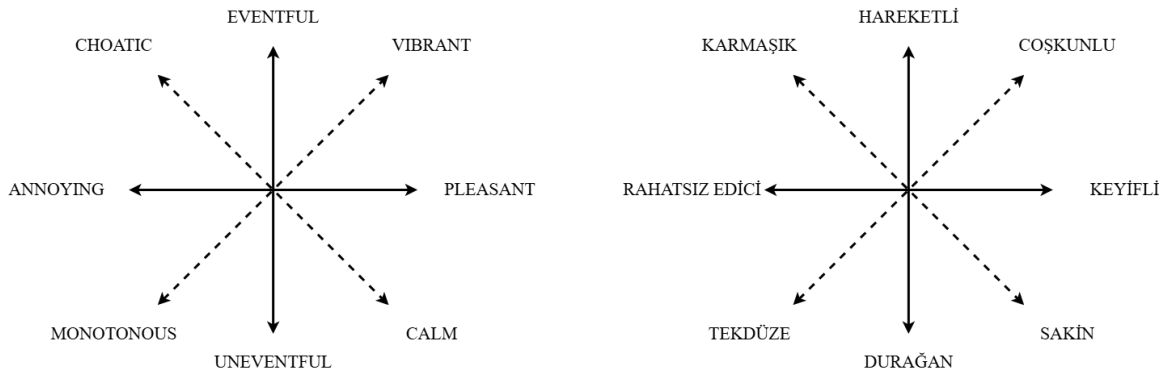
Keywords: *Indoor residential soundscape, questionnaire, translation, Arabic, Turkish.*

1. GİRİŞ

İşitsel peyzaj, çevresel kalite unsurlarıyla yakından ilişkilidir. İnsanlar tarafından anlaşılan ve deneyimlenen akustik çevre olarak tanımlanabilir [1]. İşitsel ortamın tasarım sürecinde, ses tasarımı ve mimari akustiğin ardından üçüncü disiplin olarak kabul edilmektedir [2]. Bu kapsamda literatür incelendiğinde, gürültü kontrolü uygulamalarından işitsel peyzaj yaklaşımına kayan yöntemlerin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, işitsel peyzajın, insan algısını odağına alması ve aynı zamanda olumlu bir işitsel deneyim tasarlamaya yönelik geliştirilmiş olmasıdır [3].

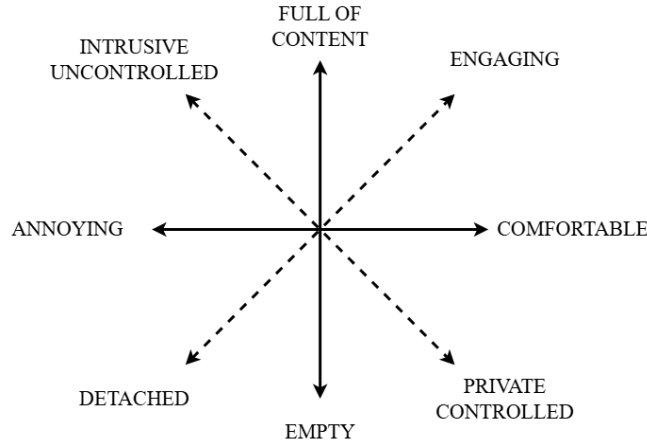
ISO 12913 standart serisi kapsamında kentsel açık alanların işitsel peyzaj tanımı, veri toplama ve raporlaması ile veri analizi yöntemleri yayınlanmıştır. Yayın aşamasında olan serinin dördüncü teknik dökümanı kapsamında ise işitsel peyzaj tasarımı ve müdahalesi konuları ele alınmaktadır [4-5]. İşitsel peyzaj kapsamındaki standartlar özellikle kentsel açık alanlar özelinde yayınlanmıştır. İç mekân işitsel peyzaj alanı ise, kullanıcılar tarafından algılanan iç mekân akustik ortama odaklanmaktadır. İç mekanlarda bir çok farklı işleve sahip yapıda işitsel peyzaj çalışmaları bulunmaktadır. Eğitim alanları kapsamında yapılmış, bir okulun iç mekân işitsel peyzajı üzerine yürütülen bir çalışmada, doğal ve müzikal seslerin entegre edilmesinin işitsel peyzajı olumlu yönde etkilediği bulunmuştur [6]. Ses kaynağının türü, konut iç mekânlarının işitsel peyzajını da önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Örneğin, doğal sesler iç mekân işitsel peyzajı zenginleştirebilir ve mekâna olan bağlılığı artırabilir [7].

Kentsel açık alanlara yönelik geliştirilmiş işitsel peyzaj ölçeği ISO standardı kapsamında sunulmuştur (Şekil 1) [4]. Bu ölçek, her bir işitsel peyzaj nitelenrien sıfat için kullanıcılara Likert ölçeği ya da büyüklük tahmini ölçeği (magnitude estimation scale) cevap stillerinden biri ile kullanılmaktadır. İşitsel peyzaj alanında yapılan güncel çalışmalarda, bir ölçeğin farklı dillere çevrilmesinin kritik gereksinimine yönelik uluslararası bir iş birliği gerçekleştirilmiştir. Bu işbirliği, “İşitsel Peyzaj Sıfatlarının Çeviri Projesi” (SATP) olarak adlandırılmıştır ve kentsel işitsel peyzaj ölçeği, Türkçe de dahil on sekiz farklı dile çevirilmiştir [8-17]. Kullanıcı algısını ölçen bu gibi ölçeklerin dil çevirisinin yapılması, anadili İngilizce olmayan katılımcılara daha etkili şekilde ulaşmak ve toplanan verinin karşılaştırılabilir olması için önemli ve uzun vadede faydalı bir yaklaşımdır.



Şekil 1. Kentsel işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinde yer alan sıfatların İngilizcesi [4] ve geçerliliği ve güvenilirliği test edilmiş Türkçe çevirileri [8].

İç mekanlar için benzer yıldız modelini örnek olarak geliştirilmiş konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeği, İngilizce olarak geliştirilmiş, standartlar içerisinde henüz yer almayan ama oldukça kabul görmüş bir ölçektir (Şekil 2) [18]. Bu ölçek, işlev bakımından bir önceki ölçeğe benzemekle birlikte daha çok konut içinde yer alan mekânların akustik değerlendirmesi ile ilişkilidir. İki ana eksenden (Konfor ve İçerik) ve 45° döndürülmüş iki alt eksenden oluşmaktadır. Bahsedilen her iki ölçek de işitsel peyzajı değerlendirmek amacıyla doğrudan bir anketin parçası olarak uygulanabilmektedir.



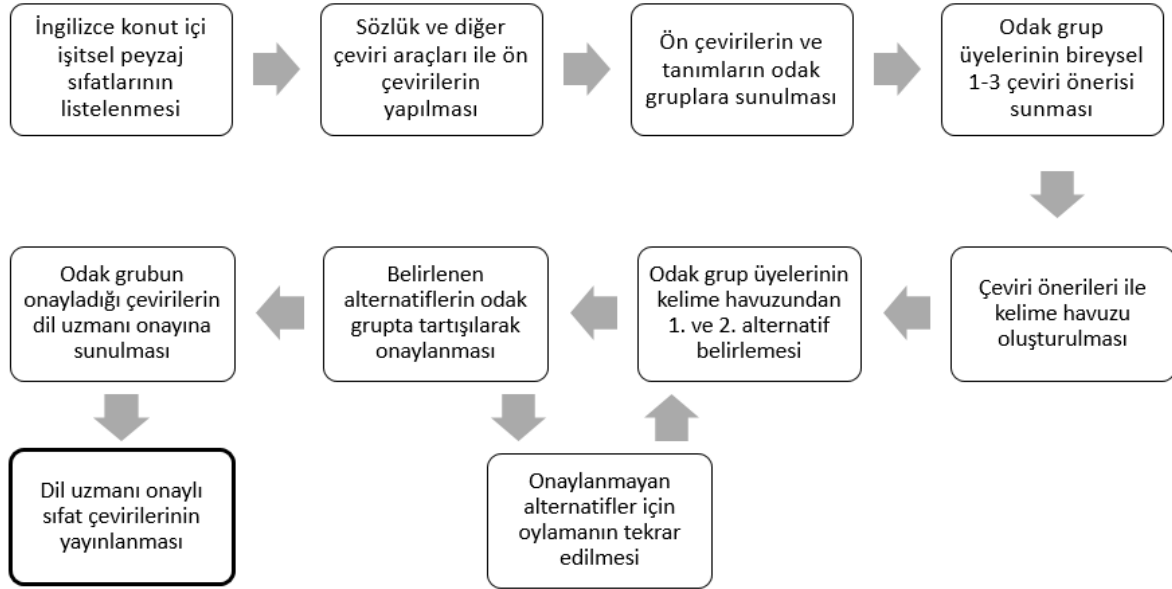
Şekil 2. Konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeği [18].

İç mekân işitsel peyzaj ölçeğinin farklı dillere çevrilmesi, SATP projesinde de hedeflendiği gibi kültürlerarası ve uluslararası bir analiz geliştirmek için önemli ve gereklidir. Bu çalışmanın amacı, literatürde kabul görmüş konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinin [18] farklı dillere çevirisinin yapılmasıdır. Bu çalışma, Şekil 2’de sunulan konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinin hem Türkçe hem de Arapça çevirilerini sunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusundaki hedefler, çevirilerin yapılması için kullanılan yöntemler ve izlenen süreç detaylı olarak sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Günümüzde Modern Türkçe, Türkiye Cumhuriyeti’nin ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nin resmi ve ulusal dilidir. Ayrıca Azerbaycan, Özbekistan, Kazakistan, Türkmenistan, Uygur bölgesi, Kırgızistan, Kafkasya, Gagavuzya ve Tatar toplulukları gibi diğer ülkelerde de konuşulmaktadır [19-21]. İkinci çeviri dili olan Arapça, Sami dillerinden biridir. Arapça, kendine özgü dilbilimsel özelliklere sahiptir (örneğin, sağdan sola yazım, isimlerde ikil sayı kullanımı ve kök sistemi). İslam öncesi Arapların zengin bir sözlü geleneğinin, özellikle de şiirselliğin önde olduğu bilinmektedir, ancak bununla ilgili yazılı kaynaklar sınırlıdır [22]. Müslümanlar, kutsal kitaplarını korumak ve yeni Müslüman olanlara Arapça öğretmek amacıyla Arapça dilbilgisini standartlaştırmaya başlamışlardır. Yapılan çalışmalar, Arapça dilbilgisinin temellerini geliştirerek dili tanımlamış ve standartlaştırmıştır [23]. Arapça, üç çeşit altında değerlendirilebilir. Bunlar, kutsal kitaplarda kullanılan ve Arap edebî mirasına işaret eden Klasik Arapça, Klasik Arapçanın güncellenmiş bir versiyonu olup günümüzde kullanılan Modern Standart Arapça ve farklı bölgelerde yaşayan halklar tarafından geliştirilen lehçeler olan Günlük Konuşma Arapçasıdır [22]. Bu çalışma kapsamında yapılan çeviriler için, Modern Türkçe ve Modern Standart Arapça kullanılmıştır.

Çalışma hedeflerine ulaşmak için, Şekil 3'te gösterilen süreç ve yöntemler uygulanmıştır. Her hedef dil için ayrı bir çeviri ekibi oluşturulmuştur. İki ekip eş zamanlı olarak araştırmacı tarafından koordine edilmiş, ancak ekipler arasında müdahale yapılmamıştır. Çeviri ekibi üyeleri, hedef dilin ana dili olan ve İngilizceyi ileri düzeyde bilen (dil yeterlilik sınavları ile bu tespit yapılmıştır) ve akustik alanında uzman ya da lisansüstü çalışmalarını yürüten kişilerden oluşmuştur.



Şekil 3. Çalışma kapsamında uygulanan çeviri yöntemleri ve izlenen süreç.

Benzer çalışmalarda dil çevirileri yapılırken, temelde iki çeviri yöntemi öne çıkmaktadır: (i) ölçeğin tek yönlü çevrilmesi ve ardından geri çevrilmesi ve (ii) birden fazla bağımsız çevirinin yapılarak bunların karşılaştırılması, tek bir alternatifin belirlenmesi ve üçüncü bir tarafça değerlendirilmesi [24]. Ancak çevirmenler, yaptıkları çevirinin geri çevrileceğini bildiklerinde, en uygun karşılığı sunmaya odaklanmaktan ziyade, geri çevrildiğinde doğru görünecek karşılıkları özellikle seçme eğiliminde olabilmektedir [25].

Tablo 1. SATP kapsamında uygulanan bazı çeviri yöntemleri ile konut içi işitsel peyzaj kapsamında ve bu çalışmada kullanılan yöntemler.

Ölçek	Araştırma	Hedef dil	Çeviri yöntemi/yöntemleri	Katılımcı sayısı
Kentsel açık alanlarda işitsel peyzaj	Dökmeci Yörükoğlu et al. [8]	Türkçe	Literatür taraması: Bir sözcük havuzu oluşturuldu	-
			Odak grup tartışması: Katılımcılar en uygun çevirileri tartıştı ve oy kullandı	8
			Dilbilim uzmanı onayı alındı	2
	Lam et al. [10]	Malayca (Standart Malay)	Anlamsal çeviri (ilk çeviriler)	1
			Odak grup tartışması	4
			Deneyimsel değerlendirme	4
			Komite incelemesi	-
	Li et al. [11]	Mandarin Çincesi	İki ayrı uzman paneli (her biri bir odak grup tartışmasından oluşmaktadır)	-
			Karşılaştırmalı değerlendirme ve tartışma	-

	Nagahata. [12]	Japonca	Altı popüler İngilizce-Japonca sözlük kullanılarak doğrudan çeviri	1
	Sударsono et al. [13]	Endonezce	Odak grup çevirisi ve tartışması	5
	Van Den Bosch et al. [14]	Felemenkçe	İki ayrı uzman paneli (her biri bir odak grup tartışmasından oluşmaktadır)	4 & 3
			İki grubun başkanları arasında karşılaştırmalı değerlendirme ve tartışma	2
	Vida et al. [15]	İspanyolca	Çeviri üzerinde ayrı ayrı çalışan araştırmacıların iş birliği	3
	Watcharasupat et al. [16]	Tayca	Bağımsız çeviri	5
			Grup tartışması ve kısa listeye alma	6
	Antunes et al. [17]	Portekizce	Ön çeviri: Sözcük havuzu oluşturmak için literatür incelendi	4
			Çevrimiçi anket: Katılımcılar en uygun çeviriler için oy kullandı	245
			Veri analizi ve nihai çeviri	-
Konut içi işitsel peyzaj	Torresin et al. [18]	İngilizce	Konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinin ilk önerisi ve kullanımı	-
	Alkan and Dökmeci Yörükoğlu [Bu çalışma]	Türkçe	Çeviri ekibi: kelime havuzu oluşturma ve en çok tercih edilen çeviri için oylama	8
			Dil onayı ve nihai çeviri seçimi	1
		Arapça	Çeviri ekibi: kelime havuzu oluşturma ve en çok tercih edilen çeviri için oylama	8
			Dil onayı ve nihai çeviri seçimi	1

Başlangıçta, İngilizce konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinde yer alan sıfatların, çeviri alternatiflerini ve çeviri sürecinin açıklamasını içeren bir belge hazırlanmıştır. Çeviri alternatifleri, yazar tarafından çeşitli sözlükler ve çeviri araçları kullanılarak geliştirilmiştir. Belge, her bir çevirmene ayrı ayrı dağıtılmış ve her İngilizce sıfat için bir ila üç çeviri alternatifi sunmaları istenmiştir. Çevirmenlerin, sağlanan çeviri alternatiflerinden bir veya birkaçını kullanmalarına ya da tamamen göz ardı etmelerine izin verilmiştir. Toplanan çeviriler daha sonra kapsamlı bir sözcük havuzu oluşturmak amacıyla birleştirilmiştir. Oluşturulan sözcük havuzu tekrar çevirmenlere gönderilmiştir. Her çevirmene, her İngilizce sıfat için en çok ve ikinci en çok tercih ettikleri çeviri alternatifleri için oy kullanmaları ve seçimlerini araştırmacıya iletmeleri talimatı verilmiştir. Araştırmacı, oy sonuçlarını bir tablo hâline getirmiştir. Birden fazla alternatif aynı sayıda oy almışsa, birlikte kaydedilmiştir. Tablo daha sonra, bireysel oy ayrıntıları hariç tutulmak üzere çevirmenlerle paylaşılmış ve açık bir tartışma başlatılmıştır. Çevirmenlerden, seçilen her alternatif için katılım veya itirazlarını ifade etmeleri istenmiştir. Sonuç olarak, her iki ekipteki tüm çevirmenler, ortaya çıkan tüm alternatifler üzerinde uzlaşmaya varmıştır. Ardından, tüm çeviri adımları, hedef dilin ana dili olan ve İngiliz dili ve edebiyatı veya İngilizce çeviri ve çevirmenlik çalışmaları alanında uzmanlaşmış bir dilbilim uzmanı tarafından gözden geçirilmiştir. Çevirisi yapılan kelimelerin son kararının verilmesi için, dilbilim uzmanından, nihai çevirileri değerlendirmesi ve onaylaması veya reddetmesi istenmiştir. Her ekibin dilbilim uzmanı, çeviri sürecini onaylamış ve oylarla belirlenen alternatifler arasından nihai çevirilerin seçimine ilişkin öneriler sunmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çeviri sürecinde karşılaşılan çeşitli zorluklar olmuştur. Bunlardan biri, konut içi işitsel peyzaj ölçeğinin iki çeviri ekibine eş zamanlı sunulmasıdır. Hedef diller arasındaki yapısal farklılıklar, çeviri esnasında atanan kelime sayılarındaki değişkenlik ve süreçlerin zaman akışı farklılıkları diğer zorluklar olarak kaydedilmiştir. Arapçaya çeviri sırasında, tüm çeviri alternatifleri dişi cinsiyetli olarak belirlenmiştir çünkü “akustik çevre” ve “iç mekân akustik çevresi” Arapçaya çevrildiğinde dişi cinsiyete atanmaktadır. Türkçe çeviri alternatifleri açısından, “Kontrollü” sıfatı için ekip üyeleri tarafından yalnızca iki alternatif önerilmişken, “Kontrolsüz” sıfatı için yalnızca bir alternatif önerilmiş ve bu sıfatların açıkça anlaşıldığı vurgulanmıştır.

Tablo 2. İngilizce konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinde yer alan sıfatların Arapça ve Türkçe çevirileri.

İngilizce sıfatlar	Türkçe çeviriler	Arapça çeviriler
Full of Content	Zengin içerikli	غنية بالمحتوى Ghaniya bil-muhtawa
Empty	Boş	خالية Khalia
Comfortable	Rahat	مريحة Muriha
Annoying	Rahatsız edici	مزعجة Muz‘ija
Engaging	Etkileşimli	متفاعلة Mutafa‘ila
Detached	Bağımsız	منفصلة Munfasila
Private	Özel	خاصة Khassa
Controlled	Kontrollü	مسيطر عليها Musaytar alayha
Intrusive	Araya karışan	تداخلية Tadakhuliya
Uncontrolled	Kontrolsüz	غير مسيطر عليها Ghayr musaytar alayha

Her iki dil için de dilbilim uzmanları, çeviri yöntemi ve nihai oy sonuçları üzerinde anlaşmışlardır. Bununla birlikte, ekip üyeleri tarafından yapılan oylarla belirlenen çeviriler arasından nihai çevirinin seçimi konusunda rehberlik sağlamışlardır. Çeviri süreci sonrasında Tablo 2’de yer alan, çeviri ekibi ve dil uzmanı tarafından onaylanmış son çeviriler ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇ

İşitsel peyzaj, kullanıcıların akustik çevreyi nasıl algıladığını ve anladığını inceleyen bir çalışma alanıdır. İşitsel peyzaj algı çalışmalarında kentsel açık alanlara yönelik standartlar kapsamına da girmiş bir çok farklı yöntem ve ölçek vardır. İç mekan işitsel peyzaj çalışmaları kapsamında ise Şekil 2’de sunulan, yayınlanmış standartları ve yöntemleri temel alarak geliştirilmiş ve İngilizce olarak güvenilirlik ve geçerlilik testleri yapılmış, konut içi işitsel

peyzaj değerlendirme ölçeği bulunmaktadır. Kùltùrlerarası ve farklı diller kapsamında araştırmaların karşılaştırılabilir olması ve geniş veri gruplarının oluşturulması amacı ile, ölçek kapsamında yer alan sıfatlar bu çalışma kapsamında hedef dile (Tùrke ve Arapça) evrilmiřtir. İki dil kapsamında oluşturulan odak gruplar eş zamanlı olarak çalışmış, her biri hedef dilin ana dili olan ve İngilizceyi ileri düzeyde bilen sekiz üyeden oluşmuştur. Bu alışma, konut içi işitsel peyzaj değerlendirme ölçeğinin Arapça ve Tùrkeye çevrilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada sunulan çevirilerin, bir sonraki adım olan dinleme testleri ile yapılması hedeflenen, güvenilirlik ve geçerlilik analizleri için kullanılması planlanmaktadır. Bùylece, konut içi işitsel peyzaj çalışmalarında toplanan veriler ile geniş veri havuzları oluşturulabilir. Karşılaştırılabilir veri havuzları, işitsel peyzaj alanına, standartların oluşturulmasına ve ana dilde yapılan çalışmaların önem kazanmasına katkı sunması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BSI/ISO, BS ISO 12913-1:2014 Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and Conceptual Framework, London, 2014.
- [2] Alkan, A., Dökmeci Yörükoğlu, P.N., & Kıvanç, K., Indoor Soundscapes of the Future: Listening to Smart Houses, in Transforming Issues in Housing Design, 1st ed., K. Guler (Ed.), Wiley, pp.245–254, 2023.
- [3] Erçakmak, U.B., & Dökmeci Yörükoğlu, P.N., Comparing Turkish and European Noise Management and Soundscape Policies: A Proposal of Indoor Soundscape Integration to Architectural Design and Application, *Acoustics*, vol.1, no.4, pp.847–865, Nov. 2019.
- [4] PD ISO/TS 12913-2:2018, Acoustics — Soundscape — Part 2: Data Collection and Reporting Requirements, 2018.
- [5] PD ISO/TS 12913-3:2019, Acoustics — Soundscape — Part 3: Data Analysis, 2019.
- [6] Cal, H.K., Aletta, F., Kang, J., & Clarke, P., Student Perception of School Soundscapes and Wellbeing: A Mixed Methods Examination of Natural and Musical Sounds, *Building and Environment*, vol.277, p.112946, Jun. 2025.
- [7] Chen, K., Kang, J., & Ma, H., Perceived Attachment to Indoor Acoustic Environments in High-Rise Residential Buildings: Quantization, Prediction, and Population-Based Comparison, *Building and Environment*, vol.276, p.112914, May 2025.
- [8] Aletta, F., & diğerleri, Soundscape Descriptors in Eighteen Languages: Translation and Validation Through Listening Experiments, *Applied Acoustics*, vol.224, p.110109, Sep. 2024.
- [9] Dökmeci Yörükoğlu, P.N., & diğerleri, Translation of Soundscape Perceptual Attributes from English to Turkish, *Applied Acoustics*, vol.209, p.109391, Jun. 2023.
- [10] Lam, B., & diğerleri, Crossing the Linguistic Causeway: A Binational Approach for Translating Soundscape Attributes to Bahasa Melayu, *Applied Acoustics*, vol.199, p.108976, Oct. 2022.
- [11] Li, M., & diğerleri, Mandarin Chinese Translation of the ISO-12913 Soundscape Attributes to Investigate the Mechanism of Soundscape Perception in Urban Open Spaces, *Applied Acoustics*, vol. 215, p. 109728, Jan. 2024.
- [12] Nagahata, K., A Trial of Translation of the Perceived Affective Quality Attributes for Soundscape Research to Japanese, *Applied Acoustics*, vol. 211, p. 109542, Aug. 2023.
- [13] Sudarsono, A. S., Setiasari, W., Sarwono, S. J. & Nitidara, N. P. A., The Development of Standard Perceptual Attributes in Indonesian for Soundscape Evaluation: Result from Initial Study, *Journal of Applied Science and Engineering*, vol. 25, no. 1, Feb. 2022.
- [14] Van Den Bosch, K. A. et al., Creating a common language for soundscape research: Translation and validation of Dutch soundscape attributes, *Applied Acoustics*, vol. 212, p. 109545, Sep. 2023.
- [15] Vida, J. et al., Soundscape attributes in Spanish: A comparison with the English version of the protocol proposed in Method A of the ISO/TS 12913-2, *Applied Acoustics*, vol. 211, p. 109516, Aug. 2023.
- [16] Watcharasupat, K. N. et al., Quantitative evaluation approach for translation of perceptual soundscape attributes: Initial application to the Thai Language, *Applied Acoustics*, vol. 200, p. 108962, Nov. 2022.
- [17] Antunes, S., Michalski, R. L. X. N., de U. Carvalho, M. L. & Alves, S., Validated translation into Portuguese of perceptual attributes for soundscape assessment, (conference paper).
- [18] Torresin, S. et al., “Indoor soundscape assessment: A principal components model of acoustic perception in residential buildings,” *Building and Environment*, vol. 182, p. 107152, Sep. 2020.

- [19] Aydingün, A. & Aydingün, İ., “The Role of Language in the Formation of Turkish National Identity and Turkishness,” *Nationalism and Ethnic Politics*, vol. 10, no. 3, pp. 415–432, Jan. 2004.
- [20] Dökmeci Yörükoğlu, P. N. et al., “Evaluation of the Turkish soundscape circumplex model, and the effects of sound source dominance, sequence, and gender on the perceived affective quality,” *Applied Acoustics*, vol. 223, 2024.
- [21] Doğançay-Aktuna, S., “An Evaluation of the Turkish Language Reform After 60 Years,” *LPLP*, vol. 19, no. 3, pp. 221–249, Jan. 1995.
- [22] Al-Huri, I., *Arabic Language: Historic and Sociolinguistic Characteristics*, *English Literature and Language Review*, vol. 1, no. 4, pp. 28–36, 2015.
- [23] Suleiman, Y., “Arabic Linguistic Tradition,” in *Concise History of the Language Sciences*, Elsevier, pp. 28–38, 1995.
- [24] Gudmundsson, E., “Guidelines for translating and adapting psychological instruments,” *Nordic Psychology*, vol. 61, no. 2, pp. 29–45, Jan. 2009.
- [25] Geisinger, K. F., “Cross-cultural normative assessment: Translation and adaptation issues influencing the normative interpretation of assessment instruments,” *Psychological Assessment*, vol. 6, no. 4, pp. 304–312, Dec. 1994.

SESİN ONTOLOJİSİ: İŞİTSEL BİLGİ İÇİN BİR SEMANTİK BİLGİ GRAFIĞI DENEMESİ

Hasan Baran Fırat¹,

¹University of Antwerp, Anvers, Belçika
e-posta: hbaran.firat@uantwerpen.be

ÖZET

Bu çalışma, tarihsel seslerin dijital kültürel miras kapsamında anlamlı, bağlamsal ve yeniden kullanılabilir biçimde temsil edilmesini hedefleyen semantik bir veri modelinin teorik çerçevesini sunmaktadır. Modelin çıkış noktası, arşiv materyallerindeki ses verilerinin—örneğin yazılı belgelerdeki ses anlatılarının—sistematiik bir metodolojiyle dijitalleştirilmesi ihtiyacıdır. Ancak geliştirilen yaklaşım, yalnızca tarihsel sesleri değil, ses fenomeninin tamamını fiziksel, deneyimsel ve bilişsel boyutlarıyla bütüncül olarak kavramsallaştırmaktadır. Ontolojik altyapı CIDOC-CRM üst-ontolojisine dayandırılmış; deneyimsel olgular CRMsci bilimsel gözlem modeliyle, duysal bağlamlar Odeuropa projesinin, zihinsel ve kültürel boyutlar ise çeşitli tarih ve duygu ontolojileriyle modellenmiştir. Bu teorik çerçevenin inşasında kapsamlı bir ses kaynakları taksonomisi de geliştirilmiştir. Çalışma, sesin kaynaktan alıcıya uzanan döngüsünü—oluşum, yayılım, algılanma, dönüşüm ve unutulma süreçlerini—zamansal, mekânsal ve aktör-temelli ilişkiler üzerinden temsil etmeyi mümkün kılan anlamsal bilgi grafiğı (*semantic knowledge graph*) ile bu grafiğı bağı taksonomileri dikkate sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Semantik data modeli, CIDOC-CRM, akustik ontoloji.

ONTOLOGY OF SOUND: A SEMANTIC KNOWLEDGE GRAPH FOR AUDITORY EXPERIENCE

ABSTRACT

This study presents the theoretical framework of a semantic data model aimed at representing historical sounds in a meaningful, contextual, and reusable manner within the scope of digital cultural heritage. The model originates from the need to systematically digitize sound data in archival materials. However, the proposed approach goes beyond historical sounds and conceptualizes the phenomenon of sound as a whole, encompassing its physical, experiential, and cognitive dimensions. The ontological infrastructure is based on the CIDOC CRM ontology; experiential phenomena are modeled with the CRM extensions; sensory contexts draw on the Odeuropa project; and mental as well as cultural dimensions are conceptualized through various historical and emotion ontologies. As part of this theoretical framework, a comprehensive taxonomy of sound sources has also been developed. The study introduces the semantic knowledge graph and its associated taxonomies, which together enable the representation of the full cycle of sound, through temporal, spatial, and actor-based relations.

Keywords: Auditory experience, knowledge graph, semantic data model

1. GİRİŞ

Ses, insan deneyiminin sözde “soyut” fakat en kuşatıcı bileşenlerinden biridir; hem bedensel duyumun en doğrudan tezahürlerinden biri olarak bireysel belleğin izlerini taşır, hem de toplumsal yaşamın ritimlerini, kültürel formlarını ve mekânsal hafızasını işitsel olarak somutlaştırır. Buna rağmen, tarihsel olarak ses, görsel ve yazılı miras öğeleri kadar kurumsallaşmış bir arşivleme ve temsil rejimine kavuşamamış; çoğu kez kayıt teknolojilerinin sınırları, epistemolojik öncelikler ve metodolojik araçların eksikliği nedeniyle kültürel mirasın kenarına itilmiştir. Dolayısıyla, sesin dijital ortamda yeniden düşünülmesi, yalnızca teknik bir aktarım sorunu değil, aynı zamanda bir epistemik ve ontolojik yeniden kuruluş sürecidir.

Son yıllarda dijital beşerî bilimler alanında semantik teknolojilerin artan kullanımı, kültürel verilerin disiplinler arası bir düzlemde kavramsal bütünlük içinde erişilebilir kılınabileceğini göstermektedir. Ontolojiler, yalnızca nesnelerin kataloglanması için şematik bir araç olmanın ötesine geçerek, kültürel fenomenlerin ilişkisel doğasını, aktörler, bağlamlar ve deneyimler arası etkileşimleriyle birlikte temsil etme kapasitesi kazanmıştır. Ne var ki mevcut şemalar ve standartlar sesin çok katmanlı yapısını kavramakta yetersiz kalmaktadır. Zira ses, salt akustik bir olaydan ibaret değil, fiziksel titreşimlerin toplumsal anlam üretim süreçleriyle kesiştiği bir fenomenolojik sahadır.

Aslen tarihi işitsel peyzajlarına odaklanan daha geniş bir araştırmanın parçası olan bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurma iddiasıyla, sesin kültürel miras içerisindeki varoluşunu bütüncül bir biçimde yeniden çerçeveleyen semantik bir veri modelinin ilk versiyonunu içermektedir. Model, sesin oluşumundan algılanışına, fiziksel, toplumsal ve bilişsel katmanlardan unutulmuş süreçlerine dek tüm devinimlerini, zamansallık, mekânsallık ve aktör temelli ilişkiler üzerinden izlenebilir kılmaktadır. CIDOC CRM’in (*Conceptual Reference Model*) üst-ontolojik altyapısı, bilimsel gözlemleri yapılandıran CRMsci (*Scientific Observation Model*), CRMdig (*Model for provenance metadata*) ve CRMinf (*Argumentation Model*) ile genişletilmiş [1]; duyusal deneyimin kültürel kodlarını yakalayan Odeuropa ontolojisi [2] ve zihinsel nesneleri kavramsallaştıran Wikidata’nın *Mental Object* çerçevesiyle tamamlanmıştır. *Mental Object*’in tek başına temsil ettiği kavramsal kapı, MFOEM (*Mental Functioning Ontology of Emotions*) ile bağlanarak sesin yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda duygusal etkilerini de modele dahil edilmiştir. Böylelikle ses, salt teknik bir veri olarak değil, duyusal, zihinsel ve kültürel düzeylerde bir olgu olarak temsil edilmektedir.

Duygusal ontolojiler, özellikle MFOEM (*Mental Functioning Ontology of EMotions*), bilişsel bilimler ve psikoloji alanında duyguların kavramsallaştırılması için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, işitsel deneyimlerin yalnızca fizyolojik değil, aynı zamanda psikolojik etkilerini de semantik düzlemde ifade etme olanağı sunar. Ses modellemelerinde genellikle ihmal edilen bu katman, kültürel miras bağlamında kritik öneme sahiptir; çünkü ses, tarih boyunca duyguların düzenlenmesi, ritüellerin inşası ve toplumsal belleğin şekillendirilmesinde merkezi bir rol oynamıştır. [3, 4]

Bu yaklaşım, hem tarihsel akustik materyallerin korunmasına ve erişilebilirliğine yenilikçi bir metodoloji sunmakta, hem de sesin kültürel mirastaki konumunu semantik açıdan zenginleştirerek disiplinler arası araştırmalar için yeni epistemik açılımlar vaat etmektedir. Ses, bu bağlamda yalnızca işitilen bir iz değil, kültürel anlamın üretildiği, dönüştüğü ve toplumsal bellekte yankılandığı bir kavramsal düğüm noktası olarak konumlandırılmaktadır. Bu bildiride ilk versiyonu önerilen semantik veri modeli, sesi tarihsel bir fenomen olarak ele alacak kapsayıcı bir yapıyı hedeflemekle, sesin zamandan bağımsız bir düzlemde kaynak-alıcı

ve mekân düzleminde gerçekleşen akustik süreci de bir ontolojik zemine oturtmayı amaçlamaktadır.

2. SESİN ONTOLOJİSİ

Sesin semantik düzeyde modellenmesine yönelik çalışmalar, tarihsel olarak teknik parametrelerin ölçülmesine ve akustik verilerin yapısal betimlenmesine odaklanmıştır. Örneğin *MPEG-7* standardı, ses ve multimedya içeriklerinin spektral, zamansal ve biçimsel özelliklerini *XML* tabanlı şemalarla temsil etmektedir; ancak bu yaklaşım, işitsel olgunun kültürel, toplumsal ve deneyimsel katmanları ile ilgilenmez. Benzer biçimde *Music Ontology* ve *Audio Feature Ontology*, müzik eserleri ve dijital ses özelliklerinin Bağlı Veri (*Linked Data*) ortamında tanımlanmasına imkân tanımış, ancak duyma deneyiminin öznel ve bağlamsal boyutlarını bütüncül olarak temsil etmemiştir.

Bu sınırlılıklara karşılık, son yirmi yılda sesin farklı yönlerini modellemek üzere çeşitli ontolojik çabalar ortaya çıkmıştır. *Audio Ontology (AO)*, ses kayıtlarının teknik niteliklerini (örnekleme oranı, format, kanal sayısı) *RDF/OWL* tabanlı olarak temsil ederek dijital sesin Bağlı Veri ile entegrasyonunu hedeflemiştir. *EUSound Ontology*, Avrupa Birliği destekli *EASAIER* projesi (2008) kapsamında, ses arşivlerine erişimi kolaylaştırmak için geliştirilmiş; kayıtların kaynak, icracı, teknoloji, zaman ve yer bağlamında kataloglanmasını sağlamıştır. Bu girişim, GLAM kurumları için değerli bir temel sunmakla birlikte, deneyimsel veya duysal boyutları ihmal etmiştir. *Audio Event Ontology (AOE)* ise daha çok işitsel peyzaj araştırmaları ve çevresel ses tanıma için kullanılmış, gündelik ses olaylarını (örn. kuş ötüşü, köpek havlaması, motor sesi) sınıflandırmayı hedeflemiştir. Ancak bu da işitsel deneyimin kültürel anlam üretim süreçlerini kapsamaktan uzaktır. [5]

AOE'nin güncel ve büyük ölçekli bir versiyonu, Google tarafından geliştirilen *Audio Set Ontology*'dir. 632 ses sınıfından oluşan hiyerarşik bir yapı üzerine kurulan bu ontoloji, 1,789,621 etiketli YouTube segmentiyle birlikte *Audio Set* verisini oluşturmuştur. Görsel tanım alanında *ImageNet*'in oynadığı rolü ses alanında üstlenmeyi amaçlayan bu girişim, makine öğrenmesi tabanlı otomatik ses tanıma için bir altyapı sağlamıştır.

Kültürel miras modelleme tarafında ise *CIDOC-CRM (Conceptual Reference Model)* ve onun uzantıları, olay-temelli (*event-based*) yapısı ile semantik açıdan güçlü bir altyapı sunmaktadır. Bu çerçeve, müzik odaklı *DOREUMS* projesi ya da savaş ile ilgili toplumsal belleği modelleyen *WarSampo* gibi projelerde başarıyla uygulanmıştır. Ayrıca, *CIDOC-CRM*'i referans alan *Odeuropa* projesiyle de kokunun kültürel mirastaki yerini temsil eden bir semantik model geliştirilmiş daha geniş anlamda farklı duyuları da kapsayan duysal deneyimin semantik modellemesinin önü açılmıştır. Ancak duyular arasında en yaygın ve toplumsal olan ses, hâlen deneyimsel ve kültürel boyutlarını kapsayacak kapsamlı bir semantik modelden yoksundur.

3. TASARIM METODOLOJİSİ

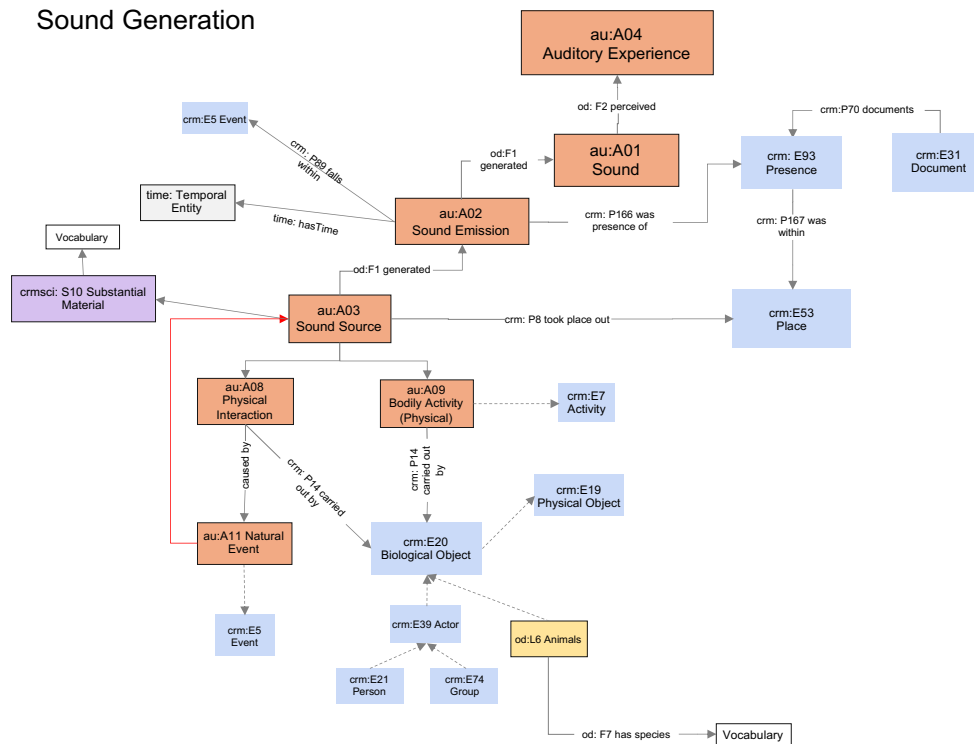
Bu çalışma, olay-kullanıcı-merkezli bir yaklaşımla geliştirilmiştir. Süreçte tarihçiler, ses alanında çalışanlar ve akustik uzmanlarla birlikte çalışılarak modelin gerçek ihtiyaçlara cevap vermesi amaçlanmıştır. Modelin yönlendirici unsurlarından biri, *Odeuropa* projesinde de takip edilen uzmanlık soruları (*competency questions*) yaklaşımıdır. Örneğin: “19. yüzyıl İstanbul’unda hangi kamusal mekânlarda hangi sesler baskındı?” veya “Belirli bir mekânda farklı dönemlerde yapılan gözlemler hangi işitsel deneyimlere işaret etmektedir?” gibi sorular

modelin kapsamını belirlemiştir. Bilginin çıkış noktası olarak farklı kaynak türleri dikkate alınmıştır: yazılı belgeler, arşivlenmiş ses kayıtları, ikonografik veriler ve edebi betimlemeler. Böylece hem doğrudan işitsel kanıtlar hem de dolaylı temsiller modelin içerisine alınabilmektedir.

Modelde, ses kaynağı, ses, akustik çevre, duyma deneyimi ve psikolojik süreçler, CIDOC-CRM'in *E55 Type* tabanlı tipolojileri aracılığıyla tanımlanmış ve standardize edilmiştir. Ses olaylarının, uzmanlık sorularına cevap verebilecek bir tasnife erişebilmesi için bir dizi taksonomi, semantik veri modeline entegre edilmiştir. Ses kaynağı, fiziksel olarak (ISO/TS 12913-2:2018), tarihi olarak, işitsel peyzajlar ise yine tarihsel/semantik olarak ve işitsel peyzaj niteliklerine (ISO/TS 12913-2:2018) göre sınıflandıran bu taksonomilerin yine ilk versiyonları ilerleyen bölümlerde paylaşılmıştır.

4. İŞİTSEL VERİ MODELİ

Model, CIDOC CRM çekirdeği ve CRMsci, CRMinf ve CRMdig uzantıları üzerine inşa edilmiş, çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Üç ana boyut etrafında kurgulanmıştır: sesin üretimi (*Sound Generation*), işitsel tecrübe (*Auditory Experience*), akustik çevre ve alımlayanın psikolojik süreçleri (*Receiver and Mental Process*). İlk boyut, sesin yaratılma sürecini kapsar ve ses üretimi insan-merkezli olmayan bir düzlemde doğa seslerini de kapsayacak şekilde fiziksel etkileşim (*au:AXX Physical Interaction*) ve bedensel aktivite (*au:AXX Bodily Activities*) süreçleri ile ilişkilendirilmiştir. Tanımlanan bu sınıfların (CIDOC CRM'de her sınıf (*class*) belirli bir tür varlığı tanımlar) ses kaynağı (*au:A03 Sound Source*) ile etkileşime (CIDOC CRM'de her ilişki/özellik (*properties*) iki tür arasındaki ilişkiyi tanımlar) girmesi sonucu ses üretimi (*au:AXX Sound Emission*) gerçekleşmektedir. Bu süreç aşağıdaki **Şekil 4**'de sunulmuştur, diğer süreçler ayrı ayrı sunulmamış, tüm model çalışmanın ekinde sunulmuştur.



Şekil 4. İşitsel deneyim semantik veri modeli, sesin oluşumunun bilgi grafiği

İkinci boyut, sesin algısal ve deneyimsel yönünü ele alır, (*au:AXX Auditory Experience*) sınıfı, modelin merkezinde tüm bileşenlerin bağlandığı bir sınıf olarak aynı zamanda söz konusu ses olayının, dinleyici tarafından tasvirini de içermektedir. Bu sınıf dinleyicinin, biyografik özelliklerinden, psikolojik özelliklerine kadar duyum sürecini etkileyebilecek tüm özelliklerini tasvir eden aktör (*E39 Actor*) sınıfına bağlanmaktadır. Yine duyum sürecinin, işitsel deneyimin gerçekleştiği akustik çevre iç mekân (*au:A06 Indoor Environment*) ve dış mekân (*au:A05 Outdoor Environment*) gibi akustik tanımlarla tasvir edilmiştir.

Üçüncü boyut ise alımlayanın psikolojik ve zihinsel süreçlerine odaklanır. Mental süreç (*se:SXX Mental Process*) üzerinden bireyin algı, duygu, biliş ve anlam üretim süreçleri modellenmiştir. Duygulanım süreci (*se:SXX Affective Process*), bilişsel süreç (*se:SXX Cognitive Process*) ve anlam üretim süreci (*se:SXX Meaning-Making Process*, başka birçok veri modelleme çalışmasına da konu olan bu başlık söz konusu bu çalışmada sadece mental ontoloji ile ilişkilendirilmiş, süreç üzerine detaylı bir modelleme gerçekleştirilmemiştir) alt sınıfları, işitsel deneyimlerin duygu durumlarına (ör. pozitif/negatif valans), bilinç düzeylerine ve tarihsel anlam inşasına bağlanmasını sağlar. Bu bölümde ayrıca bireylerin psikolojik profilleri (*se:SXX Continuant Psychological Process*) ile gözlemlenen veya atfedilen özellikler (*E13 Attribute Assignment*) ilişkilendirilerek araştırmacı yorumlarının da modele eklenmesi mümkün kılınmıştır.

Sonuç olarak ilk versiyonu paylaşılan bu model hem ölçülebilir akustik parametreleri hem de öznel deneyim ve yorumları aynı bilgi çerçevesinde birleştirmektedir. Böylece, tarihsel dönemlere ait işitsel çevreler yalnızca teknik akustik değerlerle değil, aynı zamanda metinsel ve psikolojik bağlamlarla birlikte yeniden inşa edilebilmektedir.

4.1. İşitsel taksonomiler

Modelin temel dayanaklarından birini, farklı işitsel verilerin düzenli ve birlikte sorgulanabilir biçimde temsil edilmesini sağlayan taksonomik sınıflandırmalar oluşturmaktadır. Taksonomiler aracılığıyla kaynaktan alıcıya sesin tüm unsuları farklı yaklaşım biçimlerine bağlı olarak tasnif edilmesine imkân sağlanmaktadır. Örneğin hem tarihsel kaynaklarda karşılaşılan işitsel temsiller hem de çağdaş akustik ölçümler ortak bir terminolojiye oturtulmakta ve ikisi arasındaki farklar temsil edilebilmektedir.

Bu kapsamda işitsel taksonomiler geliştirilmiştir. İlk olarak çevresel seslerin fiziksel kaynaklarına dayalı bir sınıflandırma takip edilmiştir. Bu taksonomi ilk kez [6]'de ortaya konmuştur. Ses kaynaklarını hedef alan benzer bir taksonomi yine ISO/TS 12913-2:2018'de yer almaktadır. Bu taksonomi tarihi sesler için [7]'de değerlendirilmiş, bu çalışmada ise bu taksonomi yeniden ele alınmış ve çağdaş sesleri de kapsayan **Şekil 5**'teki fiziksel ses kaynağı taksonomisi geliştirilmiştir. Bu taksonomide seviye ile kastedilen bilginin hangi soyutluk düzeyinde ele alındığını gösterir. Üst seviyeler genel kavramları, alt seviyeler daha özel tanımları, en alt seviye ise gerçek dünyadaki örnekleri ifade eder.

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5	Örnekler/Lügat
İşitsel Peyzaj	Ses Kaynakları	İnsan	Konuşma	Yönlendirilmiş Konuşma	Anlatı veya Alınlanmış Diyalog	Komutlar, seslenmeler, birine çağrılar, bağrılar, vurgular, alınlanmış diyaloglarda fısıldamalar, küfürler
				Düzensiz veya Değişmiş Konuşma	Sarhos, geveleyerek veya tutarsız şekilde yapılan kasti konuşma	
			Fiziksel	Doğal Konuşma	Toplu Konuşma	Minidanan kalabalıklar, üst üste binen konuşmalar, "insanlar konuşuyordu"
				Dil ve ağızlar	İfadeler	Kahkaha, hicrik, nefes nefese kalma, sesi tepkiler, ağlama, burun çekme, "haykırma", yakınma, iç çekme, humurdanma
				Bedensel Tepkiler		Flemençe, Fransızca, İtalyanca, İspanyolca, Batı Flamanca, Doğu Flamanca, Brabantça, Limburgca
		Doğa	Hayvanlar	Bedensel Hareketler		Hapırma, öksürme, burun çekme
						Yürüme, ayak sesleri, masaya yumruk vurma, kapı çarpma, yere sert basma, ezilme sesleri, alkış, sırt sıvazlama
			İklim ve Doğal Nesneler	Sokak Hayvanları		Köpekler, kediler
				Evcil Hayvanlar		Horoz ötüşü, koyun melemesi, tavuk gıdıklaması
				Kuşlar		Martılar, kargalar, güvercinler, serçeler vb.
	Ses Kaynakları	Mekanik ve Kontrol Sesler	İş	Diğer Hayvanlar		Fil, kaplan, yılan, böcek vizitisi vb.
				Hava Olayları ve Bkî Örtüsü		Gök gürültüsü, fırtına, şimşek, rüzgâr esintileri, deniz meltemi, yaprak hışırtısı, ağaç sallanması
				Su Sesleri		Su sıçraması, dere sesi, sıratma, yağmur
				Genel		Marangozluk, duvarcılık, zanaat işleri
				Market ve Sokak Sesleri		Bağcı seyyar satıcılar, sokak satıcıları, liman işçileri
		Müzik	Nesneler	Nesneler		Çekir, metal
				Sosyal Uyarılar		Kilise çanları, sokak çanı, sekizi vuran saat, anonslar
				Makineler		Pedallı tezgâh, yel / su değirmenleri, ayak pedalları, saatler
				Ulaşım		Atlar, at arabaları, gemiler, tekneler
				Makineler_Endüstriyel		Buhar motoru, matbaa makinesi, çekileme, motor uçuşu
Akustik Nitelikler	Ses Kaynakları	Müzik	Nesneler	Ev Aletleri		Eyrobotu, klima, süpürge, çamaşır makinesi, gramofon, daktilo, yürüyen merdiven
				Motorsuz		Bisikletler, scooterlar, kaykaylar
				Motorsuz		Motor gürültüsü, buharlı tren sesi, takırtıyan vapörler
				Genel		Solo şarkıcılar, sokak şarkıcıları, karnaval şarkıcıları, düğün eğlenceleri
				İşitsel		Satıcı şarkıları, miting şarkıları, ozan şarkıları, politik şarkılar
		Dijital Sesler	Grup of people, Choir	Klasik, Seraylı		Toplu koro söyleyişi, konserler, orkestra bölümleri, bando takımları, dans salonu performansları
				Dini		Te Deum, ilahiler, çan müziği
				Halk		Polka, vals, halk dansı, Napoli ezgileri
				Instruments		Keman, gamba, trompet, korno
				Enstrümanlar		Hoparlörler, megafonlar, megafon, kulaklık vb.
Sessizlik	Akustik Nitelikler	Ses Kaynakları	Dijital Sesler	Ses Reprodüksiyonu		Ses sentezi, makine sesleri, zil sesleri, elektronik sesler ve müzikler, chiptune
				Dijital Sesler		
		Ses Kaynakları	Ses Kaynakları	Öznel Nitelikler_Çevresel		Netlik, sıcaklık, parlaklık, samimiyet, genişlik hissi
				Öznel Nitelikler_Tekil Ses Kaynakları		Keskinlik / parlaklık, pürüzlülük, hoşluk / rahatsız edicilik
				Nesnel Nitelikler_Çevresel		Yankı, eko, yansımalar, yayılım
				Nesnel Nitelikler_Tekil Ses Kaynakları		Frekans, genlik, ses basıncı seviyesi, yükseklik, gürültü
		Sessizlik	Sessizlik			

Şekil 5. Fiziksel ses kaynağı taksonomisi

Bunun haricinde geçmiş işitsel deneyimlerin derlenmesi için bir tarihi işitsel peyzajlar taksonomisi geliştirilmiştir. Bu taksonomide ses çalışmaları alanında tanımlanabilen farklı alan ve konu başlıkları dikkate alınmıştır. Bu taksonomiye [8]'den erişilebilir. Bunlar haricinde ISO/TS 12913-2:2018'de yer alan işitsel peyzaj sınıfları dikkate alınmıştır. Bu standartta yer alan ses kaynakları taksonomisi ve işitsel peyzaj sınıfları arasındaki ilişki [9]'de incelenmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, sesin kültürel miras bağlamında ontolojik olarak modellenmesine yönelik bir ilk deneme niteliğindedir. Sunulan semantik model, sesin kaynaktan alıcıya uzanan döngüsünü fiziksel, deneyimsel ve zihinsel katmanlarıyla birlikte temsil edebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Modelin üç temel boyutu—sesin üretimi, işitsel deneyim ve alımlayıcının psikolojik süreçleri—CIDOC CRM'in olay-temelli yapısı üzerine inşa edilmiştir. Bu yapı, CRMsci'nin gözlemsel çerçevesi, CRMdig'in hesaplama ve simülasyon süreçleri, CRMinf'in çıkarımsal ilişkileri ile zenginleştirilmiştir. Ayrıca, Odeuropa projesinde koku için geliştirilen yaklaşım örnek alınarak, işitsel deneyimin kültürel ve toplumsal bağlamlarının modellenmesi hedeflenmiştir.

Modelin bütünleyici unsurlarından biri de işitsel taksonomilerdir. Çevresel seslerin fiziksel kaynaklarına, tarihsel belgelerdeki temsillerine ve akustik özelliklerine dayalı çok katmanlı sınıflandırmalar sayesinde, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin aynı terminoloji altında karşılaştırılabilir hale gelmesi sağlanmıştır. Böylece bir ses olgusu, hem akustik parametreleriyle hem de tarihsel ve kültürel bağlamıyla semantik grafikte temsil edilebilmektedir.

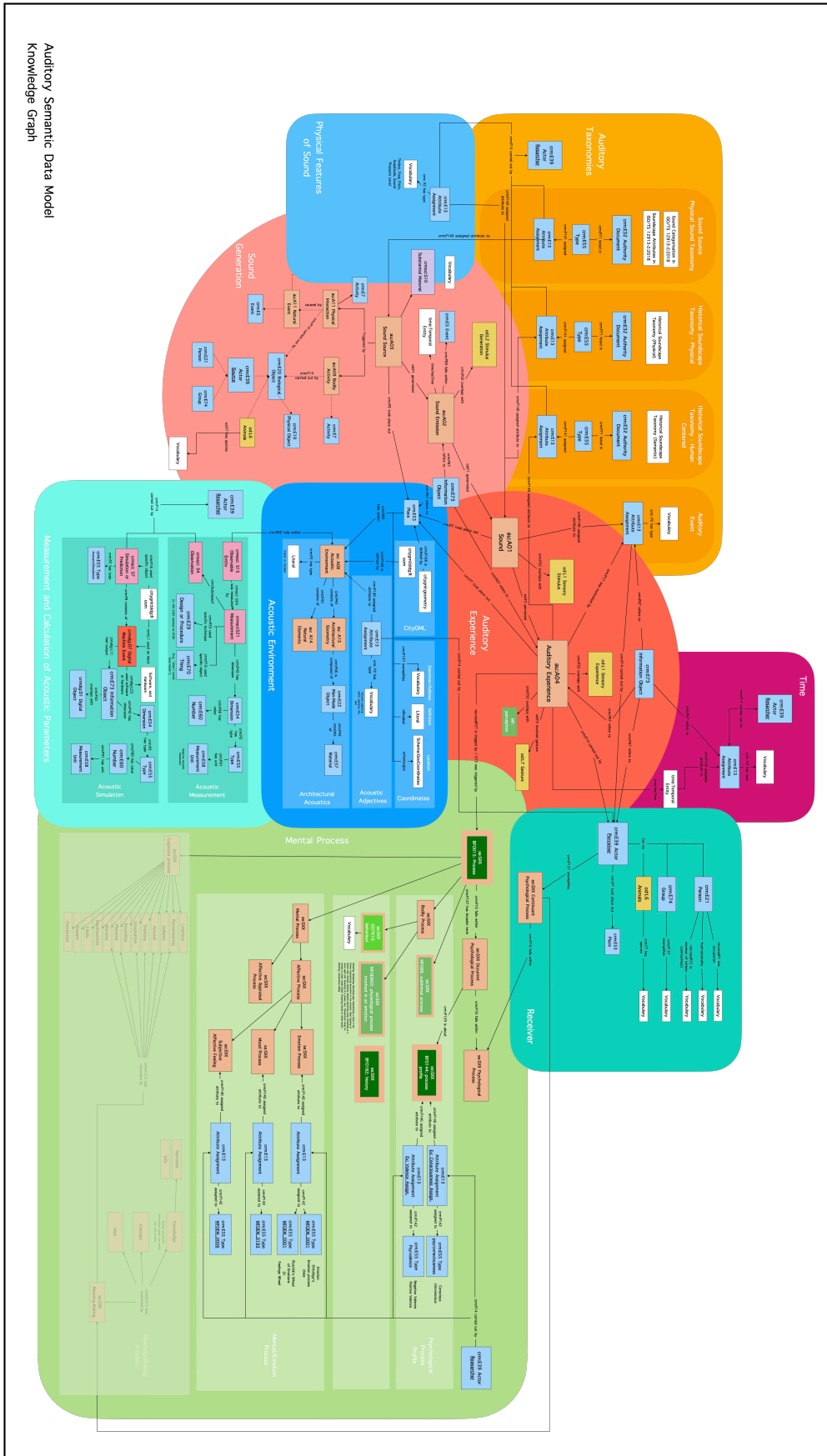
Henüz geliştirme aşamasındaki bu modelde taksonomiler, sınıf tanımları ve ilişki yapıları ilk versiyonlarıyla sunulmuş olup, ilerleyen aşamalarda farklı uzmanlık alanlarından geri bildirimlerle geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca modelin gerçek veri kümeleri üzerinde uygulanması, ölçeklenebilirliğinin ve birlikte işlerliğinin sınanması gerekmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma sesin ontolojisi için teorik bir başlangıç noktası sunmaktadır. Model, tarihi işitsel peyzajların yalnızca akustik ölçümler yoluyla değil, aynı zamanda toplumsal, kültürel ve psikolojik bağlamlarıyla da yeniden inşa edilebileceğini göstermektedir. Gelecek araştırmalar, bu öneriyi kurumsal arşivler, dijital beşerî bilimler projeleri ve disiplinler arası iş birlikleriyle test ederek daha kapsamlı bir işitsel bilgi grafiği geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] “Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model”, Version 7.1.3, 2024.
- [2] Lisena, P., vd., “Capturing the Semantics of Smell: The Odeuropa Data Model for Olfactory Heritage Information”, in *The Semantic Web*, Groth, P., Vidal, M.-E., Suchanek, F., Szekley, P., Kapanipathi, P., Pesquita, C., Skaf-Molli, H. ve Tamper, M. Ed., Cham: Springer International Publishing, pp. 387-405, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-06981-9_23.
- [3] Hastings, J., Ceusters, W., Smith, B. ve Mulligan, K., “Dispositions and Proces in Emotion Ontology”, program adı: ICBO: International Conference on Biomedical Ontology, Buffalo, NY, USA, July. 2011.
- [4] Hastings, J., “Emotion Ontology”. Erişim: 15 Eylül 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://github.com/jannahastings/emotion-ontology>
- [5] Stowell, D. ve Plumbley, M. D., “Automatic large-scale classification of bird sounds is strongly improved by unsupervised feature learning”, *PeerJ*, 2(e488), July. 2014, doi: 10.7717/peerj.488.
- [6] Guastavino, C., “Categorization of environmental sounds”, *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61(1), pp. 54-63, 2007. doi: 10.1037/cjep2007006.
- [7] Firat, H. B., Masullo, M. ve Maffei, L., “A Methodology for the historically informed soundscape”, program adı: Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020, 2020.
- [8] Firat, H. B., “Historical Soundscape Taxonomy”. Erişim: 15 Eylül 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://github.com/hbaranf/HistoricalSoundscapeTaxonomy>
- [9] Papadakis, N. M., Aletta, F. ve Stavroulakis, G. E., “Interrelationships between soundscape attributes and sound categories”, *J Acoust Soc Am*, 158(2), pp. 878-892, 2025. doi: 10.1121/10.0038626.

EK - İŞİTSEL BİLGİ İÇİN SEMANTİK BİLGİ GRAFİĞİ



Auditory Semantic Data Model
Knowledge Graph

KENT EKOSİSTEMLERİNDE İŞİTSEL PEYZAJ EKOLOJİSİ YAKLAŞIMIYLA SES ORTAMIN ANALİZİ VE TASARIMI: BİR ATÖLYE UYGULAMASI

Gülşen Akın Güler¹

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Tepebaşı, Eskişehir, Türkiye
e-posta: gulsenakinguler@gmail.com

ÖZET

Kent ekosistemlerinde sağlıklı ve sürdürülebilir yaşam, yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda işitsel çevrenin niteliğiyle de yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, ses ortamının işitsel peyzaj ekolojisi yaklaşımıyla analiz edilmesi; biyofonik ve jeofonik seslerin desteklenmesi, antropofonik (örneğin motorlu taşıt sesleri) azaltılması önem taşımaktadır. Bu çalışma, Schafer'ın bilinçli dinleme yöntemi temelinde geliştirilen ve eğitim, saha çalışması ile tasarım sürecini kapsayan bir işitsel peyzaj atölyesinin uygulamasını sunmaktadır. Eskişehir Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü öğrencileriyle yürütülen atölyede, katılımcıların akustik çevreye yönelik farkındalıklarının artırılması hedeflenmiştir. Saha çalışmaları sonucunda öğrenciler, daha önce fark etmedikleri doğal sesleri ayırt edebildiklerini belirtmiş; tasarım önerilerinde doğal seslerin artırılması ve mekanik seslerin azaltılması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışma, benzer uygulamaların farklı disiplin ve kurumlarda da gerçekleştirilmesinin faydalı olacağını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İşitsel peyzaj ekolojisi, akustik çevre, akustik farkındalık.

SOUNDSCAPE ECOLOGY APPROACH TO ACOUSTIC ENVIRONMENT ANALYSIS AND DESIGN IN URBAN ECOSYSTEMS: A WORKSHOP CASE STUDY

ABSTRACT

In urban ecosystems, achieving a healthy and sustainable living environment depends not only on physical conditions but also on the quality of the acoustic environment. Within this framework, analyzing soundscapes through a soundscape ecology approach, enhancing biophonic and geophonic sounds while reducing anthropophonic ones such as traffic noise, is crucial. This study introduces a soundscape ecology workshop grounded in Schafer's concept of conscious listening, integrating education, fieldwork, and design. Conducted with architecture students at Eskişehir Technical University, the workshop aimed to increase awareness of the acoustic environment. Field results showed that participants began recognizing natural sounds previously unnoticed and emphasized, in their design proposals, the enhancement of natural sounds and reduction of mechanical noise. The results indicate that applying similar workshops across disciplines and institutions could promote greater awareness and foster sustainable urban soundscape design.

Keywords: Soundscape ecology, acoustic environment, acoustic awareness.

1. GİRİŞ

İlk ortaya atıldığında akustik ortamdaki seslerin türlerine göre, seslerin zamana ve mekâna bağlı olarak nasıl algılandığına odaklanan işitsel peyzaj kavramı [1], genellikle insanlar, jeofiziksel öğeler ve diğer tüm canlılardan ve bunların etkileşiminden, belirli bir zaman diliminde ve belirli bir yerde ortaya çıkan seslerin bütünüyle ilgilenir [2]. Dolayısıyla organizmaların yaşadığı fiziksel, dinamik ve aurasal bir bağlamın önemli bir göstergesi olarak kabul edilebilir [3]. İşitsel peyzaj ekolojisi [4-6] ve ardından ekoakustik [7] gibi kavramların tartışılmaya başlanmasıyla, bir akustik alanı ekoloji çerçevesinde ele alan bir yaklaşım olarak gelişmiştir [8]. Başlangıçta çevre psikoloğu Southworth [1] ile ünlü besteci Schafer tarafından dikkat çekilen ve ekolojik analiz aracı olarak kullanılan işitsel peyzaj [9], “bir yerdeki ekosistem, o yerin dinamiklerini açıklayan eşsiz bir akustik biyo-spektruma sahiptir” hipotezine dayanarak ortaya çıkan bir kavramdır [10]. İşitsel peyzaj ekolojisi ise organizmaların çevreleriyle olan etkileşimini, ses aracılığıyla analiz ederek [5, 6, 11]; insanlar, organizmalar ve ses ortamı arasındaki sistematik ilişkileri inceler. Çünkü ortamda bulunan sesler, bir peyzajın biyolojik, sosyal ve fiziksel sistemlerinin dinamiklerini yansıtan akustik sinyallerdir [12].

Bir ekosistemin işitsel peyzajı, ekosistemi oluşturan varlıkların ürettiği zamana ve frekansa bağlı seslerin kapladığı fiziksel alan olarak ifade edilebilir [13]. İşitsel peyzaj ekolojisi, ekolojik konularda karar verme süreçlerine destek bilgi sağlar [14-16] ve peyzaj ile peyzaja ait sesler arasındaki ilişkiyi çözmeye odaklanır [10, 6, 17]. Bu alan biyoakustik, peyzaj ekolojisi, toplum ekolojisi gibi çeşitli disiplinleri içerse de [18, 19]; türlere özgü sesler özelinden ziyade toplum ve ekosistem bütünleşmesi içerisindeki akustik öğeleri kapsamaktadır [20, 18]. Çevresel işitsel peyzaj analizi, ekosistem dinamiklerinin ölçülmesinde tamamlayıcı bir değişkendir çünkü çevresel akustik, ekolojik endekslerin oluşturulması için temel kriterleri karşılamaktadır [21, 13]. Örneğin insanların kullanımına açılan doğal alanlarda kirlilik, ekosistemde bozulmalar ve stres oluşturur. Bu bozulmaların izlenmesi için kullanılan ekolojik göstergelerin sistemdeki streslere duyarlı olması, strese öngörülebilir bir şekilde yanıt vermesi, bütünleştirici olması; bozulmalara antropojenik streslere ve zaman içindeki değişikliklere bilinen bir yanıt vermesi ve yanıtta düşük değişkenliğe sahip olması gerekir. İşitsel peyzaj yaklaşımının karakteristiği, bu ekolojik gösterge kriterlerini karşılar ve bu nedenle ekolojik bozulmaları göstermede yararlı olan bir sistem değişkenidir [13].

İşitsel peyzaj ekolojisi, genellikle peyzaj ekolojisine benzer şekilde coğrafi bağlam, spektral örüntüler, rahatsızlık, biyolojik ve antropojenik faktörler arasındaki etkileşimler, algı (akustik) gibi temel konuları ele alır [5]. Odum'un (1953) ekosistem bileşenlerini sınıflandırması doğrultusunda [22] işitsel peyzajı oluşturan ses kaynakları jeofiziksel, biyolojik ve antropojenik olmak üzere üç ana sınıfa ayrılabilir [5, 13, 23]. Biyofonik sesler hayvanlar ve diğer canlılar tarafından üretilirken, jeofonik sesler atmosfer veya jeofizik bileşenleri tarafından üretilir. İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan sesler ise antropofoni olarak adlandırılır [24]. Makineli insan faaliyetleri sonucu oluşan sesler antropofoniye dahil edilebilirken bazı kaynaklar, makinelerden çıkan sesleri ayrıca teknofoni olarak isimlendirmiştir [25].

Biyofoni, jeofoni ve antropofoni kaynaklı sesler işitsel peyzajı oluşturan temel kaynaklar olarak bir ekosistemde karşımıza çıkar ve doğal bileşenler ile insan kaynaklı seslerin harmanlanması ile kentlerde karşılaşılan akustik ortam eksiksiz bir şekilde oluşmuş olur [5]. İşitsel peyzaj ekolojistleri, bu kompozisyonun biyolojik ve insan faaliyetleri arasındaki ilişki ile doğal veya yapılı peyzajlarda doğal işitsel peyzajların zamansal-mekansal örüntülerini nasıl tanımladığını

analiz etmektedirler [26-29]. İşitsel peyzaj ekolojisinin analizi yapılırken öncelikle ses kaynakları tanımlanır ve biyofoni, jeofoni veya antropofoniden hangisine dahil olduğu belirlenir. Ayrıca Shafer'a göre bir işitsel peyzaj analistinin işitsel peyzajın önemli özelliklerine hakim olması ve ortamdaki ses kaynaklarını kategorize ederek sürekli var olan arka plan sesleri (keynote), ön plan sesleri (signal) ya da sembol ses (soundmark) mi olduğunu belirlemesi gerekir [30]. Bu tür belirlemeler, bir işitsel peyzaj ekolojisinin ne kadar korunmuş olduğunu değerlendirmeye ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan zararlı etkileri saptamaya yardımcı olur [10]. Bunun için işitsel peyzaj ekolojistleri, belirli zamanlarda belirli yerlerden ses kayıtları alarak analiz eder ve antropojenik, biyolojik ve jeofizik seslerdeki değişikliklerin bir ekosistemin sağlığını nasıl etkilediğini anlamaya çalışırlar [29]. Ekolojik işitsel peyzaj analizi, bir ekosistemdeki biyoçeşitlilik üzerine insan etkisi [31-35] ve ekolojik sistemler arası etkileşim [36, 27, 6] gibi konularda bilgiler sunar.

Mevcut durumda kentlerin büyümesi, kalabalıklaşması ve makineli faaliyetlerin artması sonucu, kentlerde seslerin birbirine karıştığı, düşük sadakat (low-fi) [37] ve aynılaştığı ses ortamları ortaya çıkmıştır. Kent merkezleri içerisinde kalan su kıyısı, kent ormanı, park gibi doğal ya da yapılı çevrelerin ekosistemleri de insan kaynaklı ve genellikle mekanik seslerin istilasına uğramış durumdadır. Bu tür sesler de gürültü kirliliği ile ilişkilenebilmektedir [11]. Bir ekosistem üzerine zamanında yapılmış (geç kalınmadan) bir akustik analiz sonucu elde edilen önemli çevresel verilerin, bölge halkına ve doğal kaynakların yönetilmesi ve korunması konusunda sorumlu organlara iletilmesiyle hem ekosistem yönetimi ve korunması kolaylaşır hem de ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanmasında kamu katılımı ve bütüncül bir yaklaşım benimsenebilir [38]. Ekosistemi oluşturan insanlar ve diğer canlıların içinde bulunduğu ses ortamları, işitsel peyzaj ekolojisi yaklaşımıyla analiz edilmelidir. Bu analiz sonucunda, ekosisteme ait olan ve olmayan sesler belirlenmeli; istenilen sesler desteklenmeli, zararlı sesler ise azaltılarak işitsel peyzaj tasarlanmalı ve işitsel peyzaj ekolojisi koruma altına alınmalıdır. Bunun sağlanması için öncelikle konuyla ilgili farkındalık kazanılması, meslek gruplarının eğitilmesi, yerel yönetimlerin bilgilendirilmesi ve politikaların bu doğrultuda oluşturulması beklenir. Bu beklentinin karşılanması için bir adım olarak, eğitim, saha çalışması ve ses ortam tasarımı uygulaması adımlarını içeren bir işitsel peyzaj ekolojisi atölye çalışması oluşturulmuştur. Atölyenin amacı ilgili meslek grupları ve yönetsel paydaşların işitsel peyzaj ekolojisi hakkında bilgi sahibi olması, işitsel peyzaj yaklaşımıyla akustik ortamı analiz edebilme ve değerlendirme yeteneğinin kazandırılması ile ses ortam tasarımı fikirleri ve öneriler ortaya koyabilmelerini sağlamaktır. Tasarlanan bu atölye, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü lisans öğrencileriyle birlikte "İşitsel Peyzaj Ekolojisi" isimli atölye çalışması kapsamında örnek olarak uygulanmıştır. Atölye çalışması, öncelikle akustik uzman olan ders yürütücüsü tarafından kuramsal bilgi verilmesiyle başlamış ve sonrasında öğrencilerin, Eskişehir Porsuk Çayı'nın kent merkezi içerisinde kalan bir bölümünde yaptıkları alan çalışması ile topladığı verileri atölye çalışmasında işitsel peyzaj ekolojisi yaklaşımıyla analiz etmesi ve son olarak öneriler geliştirmesi ile sonuçlanmıştır. Çalışma sonunda öğrenciler, işitsel peyzaj ekolojisi, sesleri dinlemenin önemi, sağlıklı bir ses ekolojisi oluşturma gibi konularda bilgi sahibi olmuş ve uygulama yaparak farkındalık kazanmıştır.

2. İŞİTSEL PEYZAJ EKOLOJİSİ ATÖLYESİ

1993 yılında Kanada'da Birinci Uluslararası Akustik Ekoloji Konferansı'nın (The First International Conference on Acoustic Ecology) düzenlenmesi ve Akustik Ekoloji Dünya Forumu'nun (World Forum for Acoustic Ecology- WFAE) kurulması, akustik ekolojisi konusunun gelişiminde önemli gelişmeler olarak sayılabilir ancak bu gelişmeler öncesinde ortaya konulan işitsel peyzaj yaklaşımının ne anlatmaya çalıştığı; akustik ekolojisi alanıyla

ilgilenenler için büyük önem taşır [32]. Mekan ve zaman bağlamında çeşitli ölçeklerde ses kaynağı, alıcı ve çevre ilişkisini araştıran eko-akustik araştırma alanında işitsel peyzaj bileşenlerinin tanımlanmasının önemi önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır [42]. İşitsel peyzaj kavramını ortaya koyan bilim insanlarından olan Schafer, ses ortamların iyileştirilmesi için iki yaklaşım önermiştir. Birincisi çevresel sesin nasıl değerlendirileceği konusunda sonolojik yetkinlik kazandırmak amacıyla topluma eğitim vermek ve ikincisi ise çevresel gürültü yönetimi yaklaşımıyla gürültüye odaklanmak yerine duyulmak istenen seslere odaklanmak ve bu sesleri çoğaltmaktır [32]. Schafer'ın önerisi doğrultusunda akustik ortamı nitelikli dinleme, sesleri duyma, analiz edebilme ve değerlendirme yeteneğinin kazandırılması ile ses ortam tasarımı fikirleri ve öneriler ortaya koyabilmeleri konusunda yetkinlik kazandırmayı amaçlayan bu atölyenin örnek bir uygulaması yapılmıştır.

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi, Westerkamp tarafından 2002 yılında sorulan;

- “İşitsel peyzaj kompozisyonu çevresel dinleme farkındalığını nasıl artırabilir?
- Bu farkındalığın dengeli işitsel peyzaj ve akustik ekoloji hakkında fikirler üretmede rolü nedir?
- İşitsel peyzaj tasarımcısı (bestecisi), zaten aşırı yüklü bir ses dünyasında başka bir ses parçasıyla dinleme farkındalığını nasıl artırabilir?
- Dinleyici ve tasarımcı olarak bestelerimizle benimsediğimiz ekolojik duruş nedir?
- Ve diğer ekolojistleri, işitsel peyzajımızın kirliliğinin su ve hava kirliliği kadar önemli bir çevre sorunu olduğuna nasıl ikna edebiliriz? [39]”

gibi sorulardan yola çıkılarak kurgulanmıştır. Bu soruların üzerinden yirmi yıldan fazla geçmesine rağmen konu hakkında yeterli farkındalığın oluştuğu söylenemez. Bu bağlamda atölye katılımcılarının aşağıdaki kazanımları elde etmesi beklenir:

- Sesleri dinleme konusunda farkındalık kazanarak, bir alanda ses yürüyüşü ile [40] bilinçli akustik dinleme gerçekleştirebilir.
- Akustik ortamda duyduğu sesleri ekolojik kaynaklarına göre (biyofoni, jeofoni, antropofoni) ayırt edebilir.
- Akustik ortamda duyduğu sesleri işitsel peyzaj bileşenlerine göre (keynote -sürekli var olan arkaplan sesleri, signal-ön plan sesleri ya da soundmark -alanı tanımlayan ve alana ait sesler) kategorize edebilir.
- Akustik ortamda duyduğu seslerin hangilerinin alana ait olan/istenen, hangilerinin ait olmayan/istenmeyen sesler olduğunu ayırt edebilir.
- Akustik ortamda yaptığı analiz ve değerlendirmeler sonucu ekolojik işitsel peyzaj tasarımı yaparak öneriler geliştirebilir.
- Yaptığı akustik analiz ve tasarımları, çeşitli temsil araçlarıyla ifade edebilir (sözlü, yazılı, görsel gibi).

2.1. Atölye kurgusu

İşitsel Peyzaj Ekolojisi isimli atölye çalışması, kent akustiği konusuyla ilgili mimar, kentsel tasarımcı, peyzaj mimarı, mühendis, akustik uzman, ekolog, biyolog gibi meslek gruplarına, bu grupların öğrencilerine ve kent akustiği konusunda sorumlu yönetim birimlerinde görevli kişiler için kurgulanan bir atölyedir. Atölye kapsamında akustik uzman tarafından ders verilmesi, saha çalışması, analiz ve tasarım çalışması gibi aşamalar bulunmaktadır. Saha çalışması için kent içerisinde bulunan ormanlar, çayırliklar, çöller ve su ekosistemleri gibi çeşitli alanlar seçilebilir. Atölyeye katılacak kişiler öncelikle akustik uzman tarafından işitsel peyzaj yaklaşımı, işitsel peyzaj ekolojisi, işitsel peyzaj bileşenleri, temel ses türleri, işitsel peyzaj analizi, değerlendirme ve tasarımı konusunda verilen eğitime katılırlar. Katılımcılar, kent içerisinde seçilen ve sınırlandırılan alanda belirlenen rotada, sesleri dikkatli bir şekilde

dinleyerek (conscious listening); ses kaydı alınması, fotoğraf çekilmesi, duyulan seslerin not edilmesi gibi yöntemlerle duydukları sesler hakkında veri toplar. Atölye çalışmasında öncelikle deneyim paylaşımı yapılarak, ses yürüyüşü sırasında toplanılan veriler tartışılır ve analiz edilir. Ses yürüyüşü sırasında duyulan sesler, ekolojik kaynaklarına ve işitsel peyzaj bileşenlerine göre kategorize edilir. Mevcut durum belirlendikten sonra işitsel peyzaj ekolojisinde yer alması beklenen seslerin korunması, yer alması beklenmeyen seslerin azaltılması konusunda öneriler geliştirilir. Önerilen ses ortamlar, atölye katılımcıları tarafından sözlü, yazılı, görsel, üç boyutlu anlatım gibi temsil araçlarıyla sunulur.

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'ni yürütecek olan eğitmenlerin işitsel peyzaj yaklaşımı ve ekolojisi konusunda yetkin bilgi birikimine sahip olması ve saha çalışmasında deneyimli olması beklenir. Çünkü verilecek eğitimlerin içeriği işitsel peyzaj yaklaşımı, işitsel peyzaj kavramı, işitsel peyzaj çalışma alanları, veri toplama ve veri analiz yöntemleri, bilinçli dinleme ve bilinçli farkındalık gibi konuları kapsamalıdır. Saha çalışması için seçilecek kentsel ekosistemler hakkında ön bilgi sahibi olmak, saha çalışması için yerel yönetimlerden önceden izin almak, alanlara ait harita gibi dokümanlara ulaşmak gerekebilir. Eğitmenlerin saha çalışmasına katılması, çalışma sırasında eğer varsa rota takibi, kaynak dinleyici ilişkisi, kayıt alma gibi konularda katılımcıların desteklenmesi ve saha çalışmasının zamanlama, toplanma gibi konularda yönetilmesi beklenir. Atölye çalışmasında katılımcıların zihnini açmak ve ilham alması için önceki çalışmalardan çıkan sonuçlar, görselleştirme programları hakkında örnekler sunmak, sunumların çeşitlenmesi ve niteliğinin artması açısından iyi olacaktır.

2.2. Atölye uygulaması

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi, öğrenme aktivitesi, çalışma alanı belirlenmesi, saha çalışması ve atölye çalışması olmak üzere dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Örnek atölye çalışması, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, EMİM 308 İşitsel Peyzaj dersini alan 3. Sınıf, lisans öğrencilerine yönelik olarak düzenlenmiştir. Açıklanan her bir aşamanın altında, örnek atölyede yapılan aktiviteler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

- **Öğrenme Aktivitesi:** Öğrencilere, işitsel peyzaj yaklaşımı, işitsel peyzaj ekolojisi, işitsel peyzaj bileşenleri, temel ses türleri, işitsel peyzaj ile ilgili standartlar, işitsel peyzaj analizi, değerlendirmesi ve tasarımı konusunda bilgi verilmesini içerir.

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'nde yukarıda sıralanan konular hakkında 4 hafta süren 2'şer saatlik eğitim verilmiştir.

- **Çalışma Alanı Belirlemesi:** Öğrenciler kursu tamamladıktan sonra kent içerisinde saha çalışması yapacakları alanı belirler. Seçim yapılırken kursu veren eğitmeni yönlendirme yapabilir.

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'nde eğitim sonunda alan çalışması yapmak üzere nehir kıyısı ekosistemi (riparian ecosystem) seçilmiş ve çalışma alanı Eskişehir Porsuk Çayının kent merkezi içerisinde Köprü Başı ile başlayıp Kent Park ile sonlanan kısmı ile sınırlandırılmıştır.

- **Saha Çalışması:** Mümkünse seslerin en yoğun olduğu ve olabildiğince tüm ses kaynaklarının aktif olduğu bir zaman diliminde seçilen alan gidilerek bilinçli dinleme (conscious listening) yapılır. İşitsel peyzaj çalışmalarında yöntem olarak genellikle ses yürüyüşü kullanılır.

İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'nde öğrencilerle birlikte sınırlandırılan alanda ISO/TS 12913-2:2018'de ses ortamı dinlemeye odaklanan bir yürüyüşü ifade eden [41] ses yürüyüşü yöntemiyle veri toplanmıştır. Ses yürüyüşü sırasında katılımcılar belirlenen rota boyunca sesleri dikkatli bir şekilde dinlemiş, fotoğraf çekmiş ve duydukları sesleri not almışlardır.

- **Atölye Çalışması:** Bu aşamada öğrencilerden sahadan topladıkları verileri paylaşarak atölye ortamında sesleri ekolojik kökenlerine ve işitsel peyzaj bileşenlerine göre kategorize etmeleri beklenir. Daha sonra alanda istenen sağlıklı ses ortamı belirlenir ve çeşitli temsil araçlarıyla temsil edilir. Bu araçlar sesli, görsel, 3 boyutlu sunumlar şeklinde olabilir. Öğrencilerin kendilerini ifade ederken olabildiğince özgür bırakılması yaratıcılık potansiyelini artıracaktır.

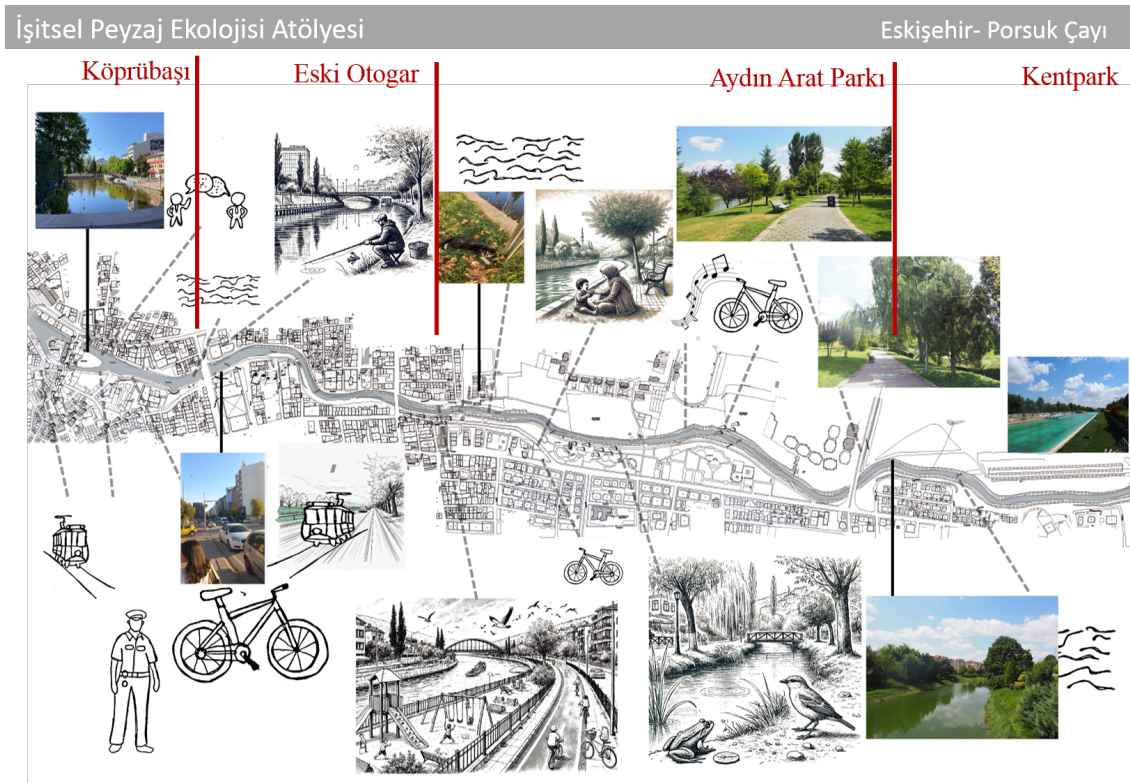
Atölye çalışması aşamasında öncelikle deneyim paylaşımı yapılarak ses yürüyüşü sırasında toplanılan veriler tartışılmış ve analiz edilmiştir. Ses yürüyüşü sırasında duyulan sesler, ekolojik kaynaklarına ve işitsel peyzaj bileşenlerine göre kategorize edilmiştir (**Tablo 1**).

Tablo 1. Belirlenen rota boyunca duyulan sesler ile ekolojik kaynaklarına ve işitsel peyzaj bileşenlerine göre analizi

Konum	Ses Ögesi	Ekolojik Kaynak Türü	İşitsel Peyzaj Bileşeni
Köprübaşı	polis, zabıta, çocuk sesleri	antrofonik	ön plan sesi
	esnaf bağırışları	antrofonik	sembol ses
	bisiklet	antrofonik	sembol ses
	araç trafiği	arka plan	arka plan sesi
	su sesleri	jeofonik	sembol ses
	tramvay	antrofonik	sembol ses
	korna	antrofonik	ön plan sesi
Eski Otogar	çocuk çığlıkları, öğrenci sesleri	antrofonik	ön plan sesi
	bisiklet	antrofonik	sembol ses
	havalandırma, iş makinesi, inşaat	antrofonik	arka plan sesi
	oto yıkama	antrofonik	arka plan sesi
	kuş sesleri	biyofonik	sembol ses
	uçak sesi	antrofonik	ön plan sesi
	korna	antrofonik	ön plan sesi
Aydın Arat Parkı	olta sesi	antrofonik	sembol ses
	kuş ve kurbağa sesleri	biyofonik	sembol ses
	insan sesleri, çocuk sesleri	antrofonik	sembol ses
	park sesleri (oyun, hareket vs.)	antrofonik	sembol ses
	trafik	antrofonik	arka plan sesi
	bisiklet	antrofonik	sembol ses
	kurbağa sesi	biyofonik	sembol ses
	kedi, köpek sesleri	biyofonik	ön plan ses
	su sesi	jeofonik	sembol ses
	baston sesi	antrofonik	ön plan sesi
	çekirdek çitleme	antrofonik	arka plan sesi
	korna	antrofonik	arka plan sesi

Kentpark	kuş, kurbağa	biyofonik	sembol ses
	olta sesleri	antrofonik	sembol ses
	rüzgar sesi	jeofonik	sembol ses
	insan konuşmaları	antrofonik	ön plan sesi
	bisiklet	antrofonik	sembol ses
	araç sesleri	antrofonik	ön plan sesi
	kedi, köpek sesleri	biyofonik	arka plan sesi
	su sesi	jeofonik	sembol ses
	radyo, müzik yayını	antrofonik	arka plan sesi

Tablo 1'e göre katılımcıların su, rüzgar sesi gibi jeofonik sesleri; kurbağa, kuş gibi biyofonik sesleri; tramvay, bisiklet, esnaf bağırışları, olta ile balık tutma gibi antrofonik sesleri sembol ses olarak değerlendirdiği tespit edilmiştir. Mevcut durum belirlendikten sonra işitsel peyzaj ekolojisinde yer alması beklenen seslerin korunması, yer almaması beklenen seslerin azaltılması önerilmiştir. Mevcut ses ortam fotoğraflarıyla birlikte, önerilen yeni işitsel peyzaj, atölyeye katılan öğrenciler tarafından görselleştirilerek çalışma alanı haritasına eklenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'nde yapılan akustik analizden sonra önerilen akustik tasarım görseli

3. SONUÇ

Önerilen atölyenin örnek uygulaması sonunda yapılan tartışmalarda öğrenciler, kent içerisinde düşük sadakat ses ortamında kaybolan seslerden kurbağa seslerini daha önce duymadıklarını ancak saha çalışması sırasında yapılan bilinçli dinlemelerde duyabildiklerini ifade etmişlerdir. Bu durum atölyenin akustik ekoloji konusunda farkındalık oluşturduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Öğrencilerin hazırladığı işitsel peyzaj ekolojisi tasarımında kuş sesi, kurbağa sesi gibi biyofonik seslerin artması, araç sesi gibi mekanik seslerin azalması isteği

vurgulanmıştır. Ses ortam içerisinde doğal seslerle birlikte insan seslerinin varlığı kabul edilse de, su ekosisteminde balık tutmak gibi daha sakin aktiviteler önerilmiştir. Akarsu kenarında kullanılan ulaşım araçlarından bisiklet ve raylı sistem tercihi öne çıkmaktadır. Oluşturulan görsellerde her ne kadar ağaç, su, biyolojik canlılar gibi öğeler artırılrsa da insanların da bu ekosisteme eklendiği dikkat çekmektedir. Sonuç olarak kent içi su kıyısı ekosisteminde biyofonik ve jeofonik sesler sembol ses olarak tanımlansa da insan seslerinden tamamen arınmış bir ses ortam sembolize edilmemiştir. Ancak motorlu taşıt seslerinin sınırlandırılması talebi göz ardı edilemez. Şüphesiz ki benzer atölyelerin meslek grupları ve kent akustiğinden sorumlu yönetimlerin de katılımıyla yapılması, gerçek hayattaki sorun tespiti ve daha sağlıklı ve sürdürülebilir bir ekolojik çevrede yaşama şansını artırmaya katkı sağlayacaktır.

İşitsel peyzaj yaklaşımıyla yapılan çalışmalarda kültürel farklılıkların işitsel algılama ve değerlendirme üzerindeki etkisi de göz önüne alındığında atölye çalışması sonuçlarının, çalışmanın yapıldığı bölgeye göre farklılık gösterebileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle ilgili meslek grupları ve yönetsel paydaşların işitsel peyzaj ekolojisi hakkında farkındalık kazanmasını amaçlayan İşitsel Peyzaj Ekolojisi Atölyesi'nin farklı bölgelere özel olarak ve yerel mevzuat doğrultusunda yere göre revize edilerek uygulanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Southworth, M., "The sonic environment of cities," *Environ. Behav.*, vol. 1, pp. 49–70, 1969. doi: 10.1177/001391656900100104.
- [2] Gasc, A., Francomano, D., Dunning, J. B., and Pijanowski, B. C., "Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions," *American Ornithological Society*, vol. 134, pp. 215–228, 2017. doi: 10.1642/AUK-16-124.1.
- [3] Farina, A., Lattanzi, E., Malavasi, R., Pieretti, N., and Piccioli, L., "Avian soundscapes and cognitive landscapes: theory, application and ecological perspectives," *Landscape Ecol.*, vol. 26, pp. 1257–1267, 2011.
- [4] Truax, B., *Handbook for Acoustic Ecology*, Cambridge Street Publishers, 1999.
- [5] Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S., and Pieretti, N., "Soundscape ecology: the science of sound in the landscape," *BioScience*, vol. 61, no. 3, pp. 203–216, 2011.
- [6] Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., and Krause, B. L., "What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science," *Landscape Ecol.*, vol. 26, no. 9, pp. 1213–1232, 2011.
- [7] Sueur, J., and Farina, A., "Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound," *Biosemiotics*, vol. 8, pp. 493–502, 2015.
- [8] Grinfeder, E., Lorenzi, C., Hauptert, S., and Sueur, J., "What do we mean by 'Soundscape'? A functional description," *Front. Ecol. Evol.*, vol. 10, Article 894232, 2022. doi: 10.3389/fevo.2022.894232.
- [9] Gasc, A., Gottesman, B. L., Francomano, D., Jung, J., Durham, M., Mateljak, J., and Pijanowski, B. C., "Soundscapes reveal disturbance impacts: biophonic response to wildfire in the Sonoran Desert Sky Islands," *Landscape Ecol.*, pp. 1–17, 2018.
- [10] Krause, B., "Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance," *Whole Earth Rev.*, no. 57, pp. 14–18, 1987.
- [11] Schoeman, R. P., Erbe, C., Pavan, G., Righini, R., and Thomas, J. A., "Analysis of soundscapes as an ecological tool," *Exploring Animal Behavior Through Sound*, vol. 1, pp. 217–267, 2022.
- [12] Zhao, Y., Xu, S., Huang, Z., Fang, W., Huang, S., Huang, P., Zheng, D., Dong, J., Chen, Z., and Yan, C., "Temporal and spatial characteristics of soundscape ecology in urban forest areas and its landscape spatial influencing factors," *Forests*, vol. 13, 1751, 2022. doi: 10.3390/f13111751.
- [13] Qi, J., Gage, S., Joo, W., Napoletano, B., and Biswas, S., "Soundscape characteristics of an environment: A new ecological indicator of ecosystem health," in *Wetland and Water Resource Modeling and Assessment*, Ji, W., Ed., CRC Press, New York, NY, USA, pp. 201–211, 2008.
- [14] Pieretti, N., "Soundscape ecology: The science of sound in the landscape," *BioScience*, vol. 61, no. 3, pp. 203–216, 2011.
- [15] Scarpelli, M. D., Ribeiro, M. C., Teixeira, F. Z., Young, R. J., and Teixeira, C. P., "Gaps in terrestrial soundscape research: it's time to focus on tropical wildlife," *Sci. Total Environ.*, vol. 707, 135403, 2020.
- [16] Scarpelli, M. D., Ribeiro, M. C., and Teixeira, C. P., "What does Atlantic Forest soundscapes can tell us about landscape?," *Ecol. Indic.*, vol. 121, 107050, 2021.
- [17] Dias, F. F., Ponti, M. A., and Minghim, R., "A classification and quantification approach to generate features in soundscape ecology using neural networks," *Neural Comput. Appl.*, vol. 34, pp. 1923–1937, 2022. doi: 10.1007/s00521-021-06501-w.
- [18] Pijanowski, B. C., Fuenzalida, F. R., Banerjee, S., et al., "Soundscape analytics: A new frontier of knowledge discovery in soundscape data," *Curr. Landscape Ecol. Rep.*,

- vol. 9, pp. 88–107, 2024. doi: 10.1007/s40823-024-00101-9.
- [19] [19] Lomolino, M. V., and Pijanowski, B. C., "Sonoric geography—addressing the silence of biogeography," *Front. Biogeogr.*, vol. 13, no. 1, 2021.
- [20] Lomolino, M. V., and Pijanowski, B. C., "Sonoric geography – addressing the silence of biogeography," *Front. Biogeogr.* [Online], vol. 13, 2021. [Accessed: Jan. 15, 2025]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/0jh5f48c>
- [21] Dale, V. H., and Beyler, S. C., "Challenges in the development and use of ecological indicators," *Ecol. Indic.*, vol. 1, pp. 3–10, 2001.
- [22] Vance, R. B., "Odum. Fundamentals of Ecology (Book Review)," *Social Forces*, vol. 32, no. 1, p. 376, 1953.
- [23] Bellisario, K. M., and Pijanowski, B. C., "Contributions of MIR to soundscape ecology. Part I: Potential methodological synergies," *Ecol. Informatics*, vol. 51, pp. 96–102, 2019.
- [24] Krause, B., "Anatomy of the soundscape: evolving perspectives," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 56, pp. 73–80, 2008.
- [25] Mullet, T. C., Gage, S. H., Morton, J. M., and Huettmann, F., "Temporal and spatial variation of a winter soundscape in south-central Alaska," *Landscape Ecol.*, vol. 31, pp. 1117–1137, 2016. doi: 10.1007/s10980-015-0323-0.
- [26] Farina, A., *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**, Springer Science & Business Medicine Series, 2013.
- [27] Joo, W., Gage, S. H., and Kasten, E. P., "Analysis and interpretation of variability in soundscapes along an urban–rural gradient," *Landscape Urban Plan.*, vol. 103, no. 3–4, pp. 259–276, 2011.
- [28] Lomolino, M. V., Pijanowski, B. C., and Gasc, A., "The silence of biogeography," *J. Biogeogr.*, vol. 42, pp. 1187–1196, 2015.
- [29] Smith, J. W., and Pijanowski, B. C., "Human and policy dimensions of soundscape ecology," *Global Environ. Change*, vol. 28, pp. 63–74, 2014.
- [30] Schafer, R. M., "The soundscape," in **The Sound Studies Reader**, Sterne, J., Ed., Routledge, pp. 95–103, 2012.
- [31] Truax, B. (Ed.), **Acoustic Communication**, Ablex Publishing, Norwood, New Jersey, 1984.
- [32] Wrightson, K., "An introduction to acoustic ecology," *Soundscape: J. Acoustic Ecol.*, vol. 1, no. 1, pp. 10–13, 2000.
- [33] Depaetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., and Sueur, J., "Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland," *Ecol. Indic.*, vol. 13, no. 1, pp. 46–54, 2012.
- [34] Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., and Duvail, S., "Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal," *PLoS One*, vol. 3, no. 12, e4065, 2008.
- [35] Krause, B., and Farina, A., "Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity," *Biol. Conserv.*, vol. 195, pp. 245–254, 2016. doi: 10.1016/j.biocon.2016.01.013.
- [36] Carles, J. L., Barrio, I. L., and de Lucio, J. V., "Sound influence on landscape values," *Landscape Urban Plan.*, vol. 43, pp. 191–200, 1999.
- [37] Schafer, R. M., *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, Destiny Books, Rochester, Vermont, 1977.
- [38] Kasten, E. P., Gage, S. H., Fox, J., and Joo, W., "The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology," *Ecol. Informatics*, vol. 12, pp. 50–67, 2012.
- [39] Westerkamp, H., "Linking soundscape composition and acoustic ecology," *Organised Sound*, vol. 7, no. 1, 2002.

- [40] ISO, ISO/DIS 12913-1:2014 Acoustics—Soundscape—Part 1: Definition and Conceptual Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2014.
- [41] ISO, ISO/DIS 12913-2:2018 Acoustics—Soundscape—Part 2: Data Collection and Reporting Requirements, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018.
- [42] Farina, A., and Gage, S. H., Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds, Wiley, 2017.

İŞİTSEL PEYZAJ ÇALIŞMALARI İÇİN DİJİTAL VERİ AĞLARININ KULLANIMI ÜZERİNE BİR DENEME: GOOGLE HARİTA YORUMLARI

Alara İpek Küçük¹, Aslı Özçevik Bilen²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Nilüfer, Bursa, Türkiye
e-posta: alaraipekkucuk@uludag.edu.tr

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Tepebaşı, Eskişehir, Türkiye
e-posta: aozcevik@eskisehir.edu.tr

ÖZET

İşitsel peyzaj çalışmaları, akustik kaliteyi kullanıcı deneyimini temel alarak değerlendirmektedir. Çalışmalar sıklıkla ISO12913 standartları çerçevesinde oluşturulan yöntemler ve algısal sıfatlara odaklanan anketlerle, sınırlı sayıda katılımcılı alan çalışmalarıyla yürütülmektedir. Oysa genel kullanıcının serbest yorumlarının alanla ilgili çalışmalar için kullanımı, yaygın etkili ve çok sayıda katılımcının dahil edildiği bir veri eldesi imkanı sunabilir. Buna dayanarak, çalışmanın amacı işitsel peyzaj araştırmalarının dijital veri ağlarıyla desteklenebilirliğini araştırmaktır. Bunun için Türkiye’de işitsel peyzaj konusunda anket uygulanmış açık kamusal alanlar seçilmiş, alanlara ait kullanıcı serbest yorumları Google Maps API ile toplanmış, Python programlama dili kullanılarak doğal dil işleme (DDİ) yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yorumlar, alanın ses kaynaklarıyla ilgili algısal ifadeler ve olumlu/olumsuz değerlendirmelere göre sınıflandırılmıştır. Veriler, ilgili anket sonuçlarıyla karşılaştırılarak iki kaynağın ne derece örtüştüğü sorgulanmış, serbest yorumların işitsel peyzaj çalışmaları için kaynak olarak kullanımı tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İşitsel peyzaj, kullanıcı algısı, DDİ, dijital veri, Google Maps.

AN ATTEMPT TO USE DIGITAL DATA NETWORKS FOR SOUNDSCAPE STUDIES: GOOGLE MAPS INTERPRETATIONS

ABSTRACT

Soundscape studies evaluate acoustic quality based on user experience and are often conducted with a limited number of participants using methods developed within the ISO 12913 framework, focusing on perceptual attributes through structured questionnaires. However, unsolicited public comments may offer a broader and more inclusive data source for understanding soundscapes. This study explores the potential integration of digital data networks into soundscape research. Public open spaces in Turkey where soundscape surveys were previously conducted were selected, and user-generated comments collected via Google Maps API were analyzed using NLP techniques in Python. Comments were categorized by perceptual expressions related to sound sources and their positive or negative evaluations, and findings were compared with survey-based results to evaluate consistency and discuss the potential of using unsolicited user comments as a resource in soundscape research.

Keywords: *Soundscape, user experience, NLP, digital data, Google Maps*

1. GİRİŞ

“İşitsel peyzaj”, ilk olarak Schafer tarafından “işitsel bir çevre” olarak tanımlanmış, Schafer akustik bir çalışmanın yapıldığı her türlü alanı işitsel peyzaj olarak nitelendirmiştir [1]. İşitsel peyzaj çalışmalarında amaç, içinde bulunulan ses çevresinin nasıl algılandığını anlamaktır [2], [3, 4]. Çalışmalarda öznel ve nesnel veriler kullanılmakta; ölçüm, kayıt, anket laboratuvar analizi gibi yöntemler uygulanmaktadır [5-7].

İşitsel çevre algısı, kişisel, çevresel, akustik, bağlamsal vb etkilere göre değişmektedir [2]. Konunun öznelliği, işitsel peyzaj araştırmacılarını yöntemde standardizasyona itmiştir. Bunun için kullanılan ISO 12913 standardı, işitsel peyzajı “birey tarafından algılanan ve deneyimlenen işitsel çevre” olarak tanımlamaktadır. Standartta işitsel peyzaj çalışmalarında veri toplamak için tanımlanan yöntemler; anketler, ses yürüyüşleri ve anlatı röportajlarıdır. Bununla birlikte standartta laboratuvar deneyleri, katılımsız yöntemler gibi seçenekler de yer almaktadır [8]. ISO 12913 standardı, işitsel peyzaj algısını tanımlamak üzere “eventful”, “vibrant”, “pleasant”, “calm”, “uneventful”, “monotonous”, “annoying”, “chaotic” sıfatlarının kullanımını temel almaktadır [9]. Yörükoğlu vd., çalışmalarında Türkçe dili için bu sıfatlara direkt karşılık olarak sırasıyla “hareketli”, “coşkulu”, “keyifli”, “sakin”, “durağan”, “monoton/tekdüze”, “rahatsız edici”, “karmaşık sıfatlarını önermiş, bunlara alternatif olarak “dinamik”, “heyecan verici”, “hoşa giden/hoş”, “dingin”, “durgun”, “sıkıcı”, “hoşa gitmeyen”, “kargaşalı/kaotik” sıfatlarını sunmuştur [10]. Öte yandan ses çevresini tanımlaması beklenen algısal sıfatların dillere ve kültürel bağlama göre farklılık gösterdiği görülmektedir. ISO tarafından algıyı tanımlamak üzere belirlenmiş İngilizce sıfatlar farklı dillere kimi zaman aynı anlamıyla çevrilememekte ve bunun için, sıfatların farklı dillerdeki karşılıklarıyla ilgili çalışmalar yürütülmektedir [11-13].

İşitsel peyzaj çalışmaları, her ne kadar son zamanlarda konut [14], ofis [15] gibi kapalı mekanlar üzerine de yoğunlaşmış olsa; çoğunlukla kamuya açık, kentsel alanlarda yürütülmekte ve bu alanlardaki ses algısını değerlendirmektedir [16, 17]. Kentsel mekanda gürültü kontrolü, sesin kullanıcı üstündeki etkisiyle ilgili çalışmaların odak noktasıdır [18]. Öte yandan kentin sesleri, kullanıcı için çeşitli anlamlar taşıyabilmekte, çevreyle ilgili bilgi verebilmekte hatta ilgili çevrenin kimliğini oluşturmakta; ilgili çevredeki farklı sesler kullanıcılar için pozitif ya da negatif etkilenme ve algı yaratabilmektedir. Seslerin yarattığı bu algı ve işitsel peyzajın tasarımı, kentin işitsel kimliği açısından belirleyici olmakta; bazen akustik miras değeri bile taşıyabilmektedir [19]. İşitsel peyzaj çalışmaları, kentlerdeki ses ortamlarını değerlendirirken gürültü kontrolü yaklaşımında olduğu gibi yalnızca gürültü seviyelerine bağlı kalmamakta, kullanıcının ses algısına odaklanmaktadır [17].

Mevcut yöntemlerde işitsel algı, kullanıcıya akustik ortamla ilgili yöneltile sorularla belirlenmektedir [2]. Anket katılımcıları ses ortamını kendilerine sunulan; toplumun sosyal ve dille ilgili özellikleriyle uyumlu, ilgili alanları tanımlamaya uygun sıfatlar çerçevesinde değerlendirmektedir [20]. Standardize edilmiş anket çalışmaları, katılımcıların öznel algı ve görüşlerini nesnel verilere dönüştürmek için fırsat sunmakta, bu sayede çalışılan alandaki işitsel algı anlaşılmaktadır. Öte yandan bu uygulamalar, katılımcıların yorumlarının belli kalıplar içinde kalmasına yol açmaktadır. Bu tespit üzerinden belirlenen bu çalışmanın amacı, kullanıcıların belirli bir alanla ilgili serbest yorumlarının, alanın işitsel peyzaj algısı için kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bunun için işitsel peyzaj alanında anketli bilimsel çalışma yapılmış alanlarla ilgili Google Maps üzerinde yapılmış serbest yorumlar, işitsel açıdan analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında, dille ilgili farklılıkların sebep olabileceği sorunsalları en aza indirmek bakımından Türkiye’de yapılmış anketli, bilimsel işitsel peyzaj çalışmaları derlenmiş; çalışılan alanlarla ilgili Google Maps kullanıcı serbest yorumları alınmış; Python programında doğal dil işleme (DDİ) yöntemi kullanılarak işitsel açıdan analiz edilerek, incelenen işitsel peyzaj çalışmaları kapsamında yapılmış anketlere ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2.1. Alan Seçimi ve Alanlarda Uygulanan Bilimsel Anket Verileri

Çalışmanın kapsamı, Türkiye’de anket yöntemi kullanılarak işitsel peyzaj çalışmaları yapılmış kentsel alanlar olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda kentsel alanlarda çalışılmış, işitsel peyzaj anket sonuçlarına ve Google Maps yorumlarına ulaşılabilen 46 adet alanı konu alan 12 farklı bilimsel çalışma incelenmiştir. Çalışmalar, “soundscape AND turkey”, “soundscape AND türkiye”, “işitsel peyzaj”, “soundscape” aramaları yapılarak Web of Science, Google Akademik, Dergi Park ve YÖKTEZ üzerinden derlenmiştir. Tablo 1’de ilgili çalışmalar, çalışma alanları ve alanda yapılan bilimsel çalışma anket sonuçlarına göre kullanıcıların ses ortamı genel değerlendirmesi yer almaktadır.

Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen işitsel peyzaj çalışmaları, çalışma alanları ve alanlara ait ses ortamı genel değerlendirmesi

N o	Kay .	Yıl	Kent	Çalışma Alanı	Bilimsel işitsel peyzaj çalışmaları anket sonuçlarına göre ses ortamı genel değerlendirmesi
1	[5]	2012	İstanbul	Ortaköy Meydan	Katılımcıların %57’si olumlu bulmuş, %27’si kararsızdır.
2	[5]	2012	İstanbul	Beşiktaş İskele	Katılımcıların %57’si olumsuz bulmuş, %33’ü kararsızdır.
3	[5]	2012	İstanbul	Bağdat Caddesi	Katılımcıların %60’ı olumsuz bulmuş, %30’u kararsızdır.
4	[21]	2012	İzmir	İzmir Kültürpark	Katılımcıların %73.3’ü işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
5	[21]	2012	İzmir	Karşıyaka Sahil	Katılımcıların %80’i işitsel ortamı olumsuz bulmuştur.
6	[21]	2012	İzmir	İzmir Kordon	Katılımcıların %80’i işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
7	[21]	2012	İzmir	Kemeraltı	Katılımcıların %80’i işitsel ortamı olumsuz bulmuştur.
8	[22]	2015	İstanbul	Gezi Parkı	Katılımcıların %43.6’sı işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
9	[23]	2019	Antalya	Cumhuriyet Meydanı	Katılımcıların ses ortamıyla ilgili görüşleri %31.2 olumlu, %33.5 kararsız ve %35.3 olumsuzdur.
10	[23]	2019	Antalya	Kaleiçi Yat Limanı	
11	[23]	2019	Antalya	Karalioğlu Parkı	
12	[23]	2019	Antalya	Konyaaltı Sahil	
13	[24]	2022	İstanbul	Eminönü Meydanı	İşitsel ortam “hareketli” ve “heyecan verici”dir.
14	[24]	2022	İstanbul	Fındıkzade Çukurbostan Parkı	İşitsel ortam “heyecan verici” ve “keyifli”dir.
15	[24]	2022	İstanbul	Sultanahmet Meydanı	İşitsel ortam “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
16	[24]	2022	İstanbul	Beyazıt Meydanı	İşitsel ortam “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
17	[24]	2022	İstanbul	Gülhane Parkı	İşitsel ortam “sakin” ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
18	[24]	2022	İstanbul	Yenikapı Kent Parkı	İşitsel ortam “sakin” ve “durağan” olarak nitelendirilmiştir.
19	[24]	2022	İstanbul	Ahırkapı Parkı	İşitsel ortam “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
20	[24]	2022	İstanbul	Kariye Parkı	İşitsel ortam “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
21	[24]	2022	İstanbul	Topkapı Parkı	İşitsel ortam “sakin ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
22	[24]	2022	İstanbul	Haliç Parkı	İşitsel ortam “sakin ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
23	[24]	2022	İstanbul	Akşemseddin Parkı	İşitsel ortam “sakin ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
24	[24]	2022	Eskişehir	Şelale Mesire Yeri	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
25	[24]	2022	Eskişehir	Şehit J. Ast. Hasan Önal Parkı	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
26	[24]	2022	Eskişehir	Eskişehir Kent Parkı	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
27	[24]	2022	Eskişehir	Sazova Parkı	İşitsel ortam “sakin” ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
28	[24]	2022	Eskişehir	Abdülcemil Kırımoğlu Parkı	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
29	[24]	2022	Eskişehir	100. Yıl Parkı	İşitsel ortam “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
30	[24]	2022	Eskişehir	Büyük Park	İşitsel ortam “sakin” ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.

31	[24]	2022	Eskişehir	Sümer Kıyı Yürüyüş Yolu	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
32	[24]	2022	Eskişehir	Şehit J. Ast. Raif Özgür Parkı	İşitsel ortam “sakin” ve “keyifli” olarak nitelendirilmiştir.
33	[24]	2022	Eskişehir	Tepebaşı Gençlik Parkı	İşitsel ortam “sakin” olarak nitelendirilmiştir.
34	[24]	2022	Eskişehir	Vilayet Meydanı	İşitsel ortam “heyecan verici” olarak nitelendirilmiştir.
35	[25]	2023	Çanakkale	Özgürlük Parkı	İşitsel ortam %79 oranında olumlu, kuş sesi sembol sestir.
36	[25]	2023	Çanakkale	Kordon	İşitsel ortam %84 oranında olumlu, deniz sesi sembol sestir.
37	[25]	2023	Çanakkale	Yeni Kordon	İşitsel ortam %87 oranında olumlu, deniz sesi sembol sestir.
38	[26]	2023	İstanbul	Veledi Karabaş Parkı	İşitsel ortam “hareketli” ve “hızlı” olarak nitelendirilmiştir.
39	[26]	2023	İstanbul	Kozlu Mezarlığı	İşitsel ortam “ahensiz” ve “sıkıcı” olarak nitelendirilmiştir.
40	[27]	2024	İstanbul	Galata Köprüsü	İnsan, rüzgar, dalga, vapur, trafik sesleri baskın bulunmuştur.
41	[28]	2024	Trabzon	Atatürk Meydanı	Katılımcıların %30’u olumlu bulmuştur, %53.33’ü çekimserdir.
42	[29]	2025	Diyarbakır	Suriçi	İşitsel ortam çoğunlukla olumsuz olarak değerlendirilmiştir.
43	[30]	2025	Malatya	Turgut Özal Tabiat Parkı	Katılımcıların %56.6’sı işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
44	[30]	2025	Malatya	Battalgazi Millet Bahçesi	Katılımcıların %63.3’ü işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
45	[30]	2025	Malatya	Hürriyet Parkı	Katılımcıların %53.3’ü işitsel ortamı olumlu bulmuştur.
46	[30]	2025	Malatya	Orduzu Çınar Parkı	Katılımcıların %50’si işitsel ortamı olumlu bulmuştur.

2.2. Doğal Dil İşleme (DDİ) ve Veri Analizi Süreci

Doğal dil işleme (DDİ), metin veya konuşmaların bilgisayar kullanılarak işlenmesiyle anlaşılması, soruların yanıtlanması, diller arası çeviri yapılması gibi işlemlerin yapılmasını sağlayan bir bilim dalıdır. Bu yöntem, metin içindeki bilgiye erişme ve metni anlama amacıyla kullanılabilir [31]. Çalışma kapsamında DDİ yöntemi, seçilen alanlarla ilgili Google Maps üzerinden elde edilen serbest yorumların analiz edilmesi için kullanılmıştır.

Google Maps, kullanıcılara bulundukları yerler hakkında herhangi bir kritere bağlı kalmadan serbest yorum yapma imkânı sunmaktadır. Yorumlar, işitsel peyzaj anketlerinin aksine tema, tanımlayıcı sıfatlar gibi kısıtlamalar içermemektedir ve kullanıcının alanla ilgili düşüncelerini olduğu şekilde ifade etmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında seçilen alanlarla ilgili öne çıkan ilk 100 serbest yorum derlenmiştir. Yorumlar analiz edilerek kullanıcıların alanla ilgili işitsel algısı incelenmiştir. Bunun için mevcut yorumlar, çalışma kapsamında belirlenen aşağıdaki araştırma soruları üzerinden değerlendirilmiştir:

- Serbest yorumların ne kadarı alanın işitsel ortamına değinmiştir?
- Kullanıcılar alanın işitsel koşullarını ne oranda olumlu ve olumsuz bulmuştur?
- Kullanıcılar işitsel ortamla ilgili yorumları yaparken hangi sıfatları kullanmıştır?
- Serbest yorumlarda alandaki hangi ses kaynaklarına değinilmiştir?

Analiz için serbest yorumlarda aranacak anahtar sözcükler, literatürdeki işitsel peyzajla ilgili algısal tanımlayıcılara göre belirlenmiştir. İlk olarak sesle ilgili yorumları saptamak üzere ISO12913, DSÖ Çevresel Gürültü Kılavuzu, Aletta ile diğerlerinin (2016) ve Truax’ın (2022) çalışmalarında yer alan; ses ortamını tanımlayan sözcükler temel alınmıştır. Analiz için bu tanımlayıcılarla örtüşen, Türkçe yorumlarda sık yer alan sözcükler seçilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Sesle ilgili yorumları saptamak için kullanılan anahtar sözcükler

Türkçe anahtar sözcük	Literatür karşılığı	Açıklama	Kaynak
gürültü	noise	Çevresel ses kirliliğini tanımlamaktadır	[32]
gürültülü	noisy	Rahatsız edici ses ortamlarını tanımlamaktadır	[32], [8]8.01.2026 20:50:00
ses	sound	Genel işitsel olguyu kapsamaktadır	[8]
sesli	loud	Yüksek ses şiddetini ifade etmektedir	[32], [19]8.01.2026 20:50:00
sakin	calm/quiet	Düşük uyarıcı, “pleasantness” boyutuyla ilişkili ses ortamını ifade etmektedir	[8], [19]
dinleme	listening	İşitsel farkındalıkla ilgilidir	[33]
konuşma	speech	İletişimi ve insan sesini tanımlamaktadır	[32], [33]

İkinci araştırma sorusu işitsel ortam algısının olumlu-olumsuz olma durumunu, üçüncüyse işitsel algının nasıl tanımlandığını sorgulamaktadır. Bunun için anahtar sözcük olarak işitsel ortamı tanımlayan ve işitsel algıyla ilgili olumlu ya da olumsuz değerlendirmeleri ifade eden sıfatlar seçilmiş ve DDİ uygulanmıştır. Olumlu ve olumsuz sıfatlar ISO12913, DSÖ Çevresel Gürültü Kılavuzu ve Özçevik ile Yüksel Can’ın (2012) çalışmasından alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. İşitsel koşulları tanımlamak ve işitsel yorumları değerlendirmek için kullanılan sıfatlar

Olumlu sıfatlar	Kaynak	Olumsuz sıfatlar	Kaynak
sessiz	[8], [34]	gürültülü	[35]
memnuniyet verici	[35]	memnuniyet verici değil/memnuniyetsiz	[35]
rahatlatıcı	[35]	rahatsız edici	[35]
dinlendirici	[35]	stres yaratıcı	[35]
doğal	[35]	yapay	[35]
ilgi çekici	[35]	sıkıcı	[35]
ahenkli	[35]	ahensiz	[35]
düzenli	[35]	düzensiz	[35]
hoş	[34], [36]	rahatsız edici	[34], [36]
hareketli	[34], [36]	durağan	[34], [36]
canlı	[34], [36]	monoton / tekdüze	[34], [36]
sakin	[34], [36]	kaotik /düzensiz	[34], [36]

Son araştırma sorusu için serbest yorumlar, çalışma alanlarında bulunan, yorumlarda en fazla söz edilen ses kaynaklarını belirlemek üzere analiz edilmiştir. Anahtar sözcükler belirlenirken, ISO 12913 standardında tanımlanan üç ana kategori; Gürültü, İnsan, Doğa; temel alınmıştır. Bu kategoriler doğrultusunda hem literatürde sık kullanılan hem de çalışma alanındaki gözlemlerle örtüşen ses kaynakları seçilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. İşitsel ortamı tanımlayan ses kaynakları

ISO Ana Kategorisi	Alt Kategori	Ses kaynakları	Kaynak
Gürültü	Ulaşım	araba, araç, kamyon, motorsiklet, tır, taksi, korna, yol, tren, fren, tramvay, metro	[32], [14], [37]
	İnşaat ve End. Faaliyetler	inşaat. makine. çekiç, vinç, fabrika	[32], [14], [37]
İnsan	Kamusal aktiviteler	pazar, çarşı, dükkân, müzik, hoparlör, konser, şarkı, topluluk	[32], [14], [37]
	Yaya sesleri	konuşma, sohbet, kalabalık, adım, ayak sesi, uğultu	[8], [36]
Doğa	Doğa	kuş, su, rüzgar, yaprak, deniz, dalga, iskele, martı, esinti, cıvıltı, hışırtı	[8], [36], [38]

Çalışılan her alanla ilgili 100 serbest Google Maps yorumunu içeren veri seti, Google Cloud API üzerinden çekilmiştir. Elde edilen veri setleri ayrı ayrı Python programına yüklenmiş ve araştırma sorularına göre analiz edilmiştir. Python, Google Colab üzerinden çalıştırılmıştır. Öncelikle sesle ilgili yorumlar belirlenmiş, ilgisiz yorumların kapsam dışı bırakılması için sonraki taramalar ilk etapta belirlenen, sesle ilgili yorumlar üzerinden yürütülmüştür. Analiz için Python'a veri setleri her alan için ayrı ayrı yüklenmiştir. Süreç iki adımda ilerletilmiştir. Önce DDİ uygulamasının sürdürülmesi için veri setlerini oluşturan metinler standartlaştırılmış ve dosya yüklemesi yapılmış, ardından analizler için ilgili kodlar çalıştırılmıştır (Şekil 1).

```
import re, unicodedata, pandas as pd

# Türkçe küçük harfe çevirme
def tr_lower(s: str) -> str:
    if not isinstance(s, str):
        s = "" if s is None else str(s)
    s = s.replace('İ', 'ı').replace('ı', 'i')
    return s.lower()

# Metin normalizasyonu
def normalize_text(s: str) -> str:
    if not isinstance(s, str):
        s = "" if s is None else str(s)
    s = unicodedata.normalize('NFC', s)
    s = tr_lower(s)
    s = re.sub(r'\s+', ' ', s).strip()
    return s

# "/" ile yazılan ifadeleri ayır (örn: "monoton / tekdüze")
def expand_slash_items(items):
    out = []
    for it in items:
        for part in re.split(r'\s*/\s*', it.strip()):
            if part:
                out.append(part)
    seen, cleaned = set(), []
    for x in out:
        if x not in seen:
            seen.add(x); cleaned.append(x)
    return cleaned

# Regex pattern hazırlama (son kelimeye ekleri kapsasın diye \w*)
def build_pattern(phrase):
    phrase = phrase.strip()
    tokens = phrase.split()
    if not tokens:
        return None
    escaped = [re.escape(t) for t in tokens]
    escaped[-1] = escaped[-1] + r'\w*'
    patt = r'\b' + r'\s+'.join(escaped)
    return re.compile(patt, flags=re.IGNORECASE | re.UNICODE)

# Soru 1
ql_keywords = ["gürültü", "gürültülü", "sesli", "sakin", "ses", "konuşma", "dinleme"]

# Soru 2-3 (olumlu/olumsuz sıfatlar)
pos_adj = ["sessiz", "memnuniyet", "verici", "rahatlatıcı", "dinlendirici", "doğal", "ilgi", "çekici", "ahenkli", "düzenli", "hoş", "hareketli", "canlı", "sakin"]

neg_adj_raw = [
    "gürültü",
    "memnuniyet verici değil / memnuniyetsiz",
    "rahatsız edici",
    "stres yaratıcı",
    "yapay",
    "sıkıcı",
    "ahenkli",
    "düzensiz",
    "durağan",
    "monoton / tekdüze",
    "kaotik / düzensiz"
]

neg_adj = expand_slash_items(neg_adj_raw)

# Soru 4
sound_sources = [
    "Araba", "Araç", "Kamyon", "Motorsiklet", "Tır", "Taksi", "Korna", "Yol", "Tren",
    "Fren", "Tramvay", "Metro",
    "İnşaat", "Makine", "Çekiç", "Vinç", "Fabrika", "Pazar", "Çarşı", "Dükkan", "Müzik",
    "Hoparlör", "Konser", "Şarkı",
    "Topluluk", "Konuşma", "Sohbet", "Kalabalık", "Adım", "Ayak sesi", "Üçütlü", "Kuş", "Su", "Rüzgar", "Yaprak", "Deniz", "Dalga", "İskele", "Marti",
    "Esinti", "Cıvıltı", "Hışırtı"
]

# Normalize & pattern hazırla
def prepare_terms(terms): return [normalize_text(t) for t in terms]

ql_terms = prepare_terms(ql_keywords)
pos_terms = prepare_terms(pos_adj)
neg_terms = prepare_terms(neg_adj)
src_terms = prepare_terms(sound_sources)

ql_patterns = (t: build_pattern(t) for t in ql_terms)
pos_patterns = (t: build_pattern(t) for t in pos_terms)
neg_patterns = (t: build_pattern(t) for t in neg_terms)
src_patterns = (t: build_pattern(t) for t in src_terms)
```

Şekil 1. Metinlerin düzenlenmesi ve veri analizi için kullanılan Python kodları

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında Türkiye’de anketli işitsel peyzaj çalışması yapılmış ve Google Maps yorumlarına ulaşılan 46 kentsel alan incelenmiştir. Her alanla ilgili 100 serbest yorum, yüzden az yorumu olan alanlarda mevcut yorumların tümü analiz edilmiştir. Tablo 5 sesle ilgili serbest yorum sayısı ve bunun yüzdelik dilimini, işitsel ortamın nasıl algılandığını, sesle ilgili kullanılan sıfatları ve söz edilen ses kaynaklarını göstermektedir. Sesle ilgili olumlu sıfatların kullanıldığı yorumlar pozitif, olumsuz sıfatların kullanıldığı yorumlar negatif, her iki gruptan sıfat içeren yorumlar karma ve sesle ilgili olup ilgili sıfatları içermeyen yorumlar nötr olarak işlenmiştir. Ayrıca sesle ilgili sıfat ve ses kaynaklarının tekrarlanma sayısı görülmektedir. Son sütunda ise analiz sonuçlarının incelenen 12 bilimsel çalışmaya ait anket sonuçlarıyla uyumluluğu verilmiştir. Sesle ilgili olmayan yorumlar analizlere katılmamıştır.

Tablo 5. Belirlenen kentsel alanlara ait serbest yorumların işitsel peyzaj analizi sonuçları ve bilimsel çalışma anket sonuçlarıyla karşılaştırılması

N o	Kay.	Çalışma Alanı	İlgili yorum	İşitsel algı	İşit. ortamı tanımlayan sıfatlar		Söz edilen ses kaynakları	Anket sonuçları ile karşılaştırma
					Pozitif	Negatif		
1	[5]	Ortaköy Meydan	12 (%12)	Pozitif: 8 Negatif: 0 Karma: 1 Nötr: 3	Sakin (7) Sessiz (1) Hoş (1) Hareketli (1) Canlı (1)	Rahatsız edici (1)	kalabalık (4), çarşı (3), deniz (3), araba (2), pazar (2), konuşma (2), su (2), araç (1), yol (1)	Uyumlu
2	[5]	Beşiktaş İskele	6 (%6)	Pozitif: 3 Negatif: 2 Karma: 0 Nötr: 1	Sakin (2) Sessiz (1) Düzenli (1)	Gürültülü (2)	iskele (5), yol (2), deniz (2), çarşı (1), müzik (1), adım (1), su (1), martı (1)	Uyumsuz
3	[5]	Bağdat Caddesi	2 (%2)	Pozitif: 1 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Hareketli (1) Canlı (1)	-	araç (1), müzik (1), kalabalık (1)	Uyumsuz
4	[21]	İzmir Kültürpark	15 (%15)	Pozitif: 9 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 5	Sakin (9) Hareketli (2) Sessiz (1) Doğal (1)	Gürültülü (1)	yol (3), konser (3), kalabalık (2), kuş (2), su (2)	Uyumlu
5	[21]	Karşıyak a Sahil	11 (%11)	Pozitif: 7 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 3	Sakin (7) Sessiz (1) Canlı (1)	Gürültülü (1)	kalabalık (5), deniz (3), iskele (3), tramvay (1), metro (1), kuş (1), martı (1)	Uyumsuz
6	[21]	İzmir Kordon	12 (%12)	Pozitif: 5 Negatif: 0 Karma: 1 Nötr: 6	Sakin (4) Sessiz (2) Canlı (1)	Rahatsız edici (1)	deniz (11), araç (2), müzik (2), kalabalık (2), dalga (2), martı (2), tır (1), yol (1), sohbet (1), su (1)	Uyumsuz
7	[21]	Kemeralt ı	5 (%5)	Pozitif: 3 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (3)	-	çarşı (2), dükkan (1), konuşma (1), kalabalık (1), adım (1), su (1)	Uyumsuz
8	[22]	Gezi Parkı	11 (%11)	Pozitif: 9 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (10) Sessiz (3)	-	taksi (2), şarkı (1), konuşma (1), kalabalık (1), su (1)	Uyumlu
9	[23]	Cumhuri yet Meydanı	<i>Mevcut değildir.</i>	-	-	-	-	-
10	[23]	Kaleiçi Yat Limanı	5 (%5)	Pozitif: 3 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sessiz (2) Düzenli (2) Doğal (1) Hareketli	-	deniz (8), su (6), yol (1), sohbet (1), kalabalık (1), iskele (1)	Uyumsuz

					(1) Canlı (1) Sakin (1)			
11	[23]	Karalioğlu Parkı	13 (%13)	Pozitif: 7 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 6	Sakin (6) Sessiz (1) Hoş (1)	-	Deniz (7), kalabalık (2), kuş (2), yol (1), müzik (1), konser (1)	Uyumsuz
12	[23]	Konyaaltı Sahil	7 (%7)	Pozitif: 6 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (6)	Düzensiz (2)	Deniz (11), yol (4), kalabalık (2), su (2), dalga (2), araba (1), müzik (1), sohbet (1), rüzgar (1), iskele (1)	Uyumsuz
13	[24]	Eminönü Meydanı	14 (%14)	Pozitif: 7 Negatif: 1 Karma: 1 Nötr: 6	Sakin (7) Hareketli (3) Sessiz (2) Canlı (1)	Kaotik (2)	çarşı (9), kalabalık (8), martı (8), yol (4), deniz (3), iskele (3), pazar (2), su (2), tramvay (1), hoparlör (1), adım (1), rüzgar (1)	Uyumlu
14	[24]	Fındıkza de Çukurbos tan Parkı	14 (%14)	Pozitif: 7 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 6	Sakin (7) Sessiz (1) Hoş (1)	Gürültülü (1) Rahatsız edici (1)	yol (3), kalabalık (2), su (2)	Uyumlu
15	[24]	Sultanah met Meydanı	11 (11%)	Pozitif: 6 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 5	Sakin (3) Sessiz (1) Hareketli (1) Canlı (1)	-	su (34), kalabalık (5), tramvay (3), araç (2), metro (2), topluluk (2), adım (2), araba (1), yol (1), pazar (1), çarşı (1), dükkan (1), konuşma (1), kuş (1), rüzgar (1)	Uyumlu
16	[24]	Beyazıt Meydanı	6 (%6)	Pozitif: 5 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Hoş (2) Sakin (2) Sessiz (1) Hareketli (1) Canlı (1)	-	su (2), araba (1), yol (1), çarşı (1)	Uyumlu
17	[24]	Gülhane Parkı	20 (%20)	Pozitif: 12 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 8	Sakin (11) Hoş (3) Sessiz (2) Dinlendirici (1) Doğal (1)	-	kuş (10), yol (6), su (5), kalabalık (3), müzik (2), tramvay (1), konser (1), şarkı (1), adım (1), deniz (1), martı (1), esinti (1)	Uyumlu
18	[24]	Yenikapı	11	Pozitif: 10	Sakin (9)	-	deniz (1)	Uyumlu

		Kent Parkı	(%11)	Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Sessiz (1) Hoş (1)			
19	[24]	Ahırkapı Parkı	2 (%2.1)	Pozitif: 2 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (2) Sessiz (1)	-	deniz (1)	Uyumlu
20	[24]	Kariye Parkı	5 (%5)	Pozitif: 3 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (3) Sessiz (1) Doğal (1)	-	kalabalık (1)	Uyumlu
21	[24]	Topkapı Parkı	11 (%11)	Pozitif: 10 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Sakin (7) Sessiz (3) Ahenkli (1) Düzenli (1)	-	su (5), kuş (1)	Uyumlu
22	[24]	Haliç Parkı	15 (%15)	Pozitif: 11 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 4	Sakin (9) Sessiz (7)	-	deniz (7), su (5), yol (3), kalabalık (2), kuş (2), pazar (1), dalga (1), martı (1)	Uyumlu
23	[24]	Akşemse ddi Parkı	12 (%12)	Pozitif: 10 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (10) Sessiz (3)	-	deniz (3), kalabalık (2), yol (1)	Uyumlu
24	[24]	Şelale Mesire Yeri	22 (%22)	Pozitif: 15 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 7	Sakin (12) Sessiz (4) Hoş (3) Doğal (2)	-	su (16), araç (7), kalabalık (5), yol (4), tır (3), kuş (2), araba (1), pazar (1), sohbet (1), yaprak (1), cıvıltı (1)	Uyumlu
25	[24]	Şehit J. Ast. Hasan Önal Parkı	3 (%3,3)	Pozitif: 3 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (2) Sessiz (1)	-	araba (1), yol (1), müzik (1), adım (1), cıvıltı (1)	Uyumlu
26	[24]	Eskişehir Kent Parkı	13 (%13)	Pozitif: 8 Negatif: 0 Karma: 2 Nötr: 3	Sakin (9) Sessiz (4) Hoş (2) Düzenli (1)	Yapay (3)	deniz (8), su (5), araç (2), yol (1), kalabalık (1)	Uyumlu
27	[24]	Sazova Parkı	10 (%10)	Pozitif: 8 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (1) Rahatlatıcı (1) Doğal (1)	-	su (4), kalabalık (2), kuş (2), araba (1), taksi (1), yol (1), tren (1), pazar (1), müzik (1), hoparlör (1)	Uyumlu
28	[24]	Abdülce mil Kırımoğlu Parkı	6 (%6)	Pozitif: 6 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (6) Doğal (2)	-	kuş (2), su (2)	Uyumlu
29	[24]	100. Yıl Parkı	1 (%1)	Pozitif: 1 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (1)	-	-	Uyumlu

30	[24]	Büyük Park	5 (%5)	Pozitif: 4 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Sakin (3) Sessiz (1) Düzenli (1)		yol (2), konuşma (1), su (1)	Uyumlu
31	[24]	Sümer Kıyı Yürüyüş Yolu	15 (%18,8)	Pozitif: 12 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 2	Sakin (11) Sessiz (3) Doğal (1)	Gürültülü (1)	kalabalık (2), yol (1), su (1)	Uyumlu
32	[24]	Şehit J. Ast. Raif Özgür Parkı	1 (%1,64)	Pozitif: 0 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	-	-	-	Uyumsuz
33	[24]	Tepebaşı Gençlik Parkı	Mevcut değildir.	-	-	-	-	-
34	[24]	Vilayet Meydanı	Mevcut değildir.	-	-	-	-	-
35	[25]	Özgürlük Parkı	9 (%9)	Pozitif: 6 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 3	Sakin (5) Hoş (1)	-	Yol (1), konuşma (1), kuş (1)	Uyumlu
36	[25]	Kordon	4 (%4)	Pozitif: 4 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (3) Hoş (1) Canlı (1)	-	Yol (1), müzik (1), deniz (1), dalga (1), esinti (1)	Uyumlu
37	[25]	Yeni Kordon	4 (%4)	Pozitif: 4 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (3) Hoş (1) Canlı (1)	-	Yol (1), müzik (1), deniz (1), dalga (1), esinti (1)	Uyumlu
38	[26]	Veledi Karabaş Parkı	5 (%5)	Pozitif: 5 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sessiz (4) Sakin (3)	-	-	Uyumsuz
39	[26]	Kozlu Mezarlığı	1 (%2,1)	Pozitif: 1 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sakin (1)	-	-	Uyumsuz
40	[27]	Galata Köprüsü	5 (%6,2)	Pozitif: 2 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 3	Sessiz (1) Hoş (1)	-	Araba (1), müzik (1), konuşma (1), sohbet (1), kalabalık (1), su (1), deniz (1)	Uyumlu
41	[28]	Atatürk Meydanı	6 (%6)	Pozitif: 2 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 4	Sakin (2) Canlı (1)	-	Yol (1), konser (1), kalabalık (1), adım (1), uğultu (1), su (1)	Uyumlu
42	[21]	Suriçi	1 (%1)	Pozitif: 1 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 0	Sessiz (1) Doğal (1)	-	Su (1)	Uyumsuz
43	[29]	Turgut Özal Tabiat Parkı	18 (%18)	Pozitif: 10 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 8	Sakin (9) Sessiz (3) Rahatlatıcı (1) Dinlendirici (1) Düzenli (1)	-	Su (6), yol (2), Pazar (2), araba (1), korna (1), müzik (1), kalabalık (1)	Uyumlu

					Hoş (1)			
44	[29]	Battalgazi Millet Bahçesi	4 (%4)	Pozitif: 3 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 1	Sessiz (2) Sakin (2)	-	-	<i>Uyumlu</i>
45	[29]	Hürriyet Parkı	9 (%9)	Pozitif: 7 Negatif: 1 Karma: 0 Nötr: 1	Sakin (7) Sessiz (1)	Yapay (1)	Yol (1)	<i>Uyumlu</i>
46	[29]	Orduzu Çınar Parkı	10 (%10)	Pozitif: 7 Negatif: 0 Karma: 0 Nötr: 3	Sakin (6) Sessiz (1)	-	Su (6), kalabalık (1)	<i>Uyumlu</i>

İncelenen serbest yorumlara göre kullanıcılarda sesle ilgili algının oldukça kısıtlı ve öne çıkan yorumlar içinde işitsel ortamdan söz edilme oranının düşük olduğu görülmektedir. Şelale Mesire Yeri, %22'yle sesle ilgili en fazla yorum oranına sahipken Cumhuriyet Meydanı, Tepebaşı Gençlik Parkı ve Vilayet Meydanı'nda alanda sesle ilgili yorum bulunmamaktadır. Toplamda serbest yorumların ortalama yaklaşık %8,05'i sesle ilgilidir.

Sonuçların tutarlılığı alanla ilgili bilimsel çalışma anket sonuçlarına (Tablo 1) göre değerlendirilmiştir. İşitsel algının pozitif ya da negatif olmasına, kullanıcının alanı tanımlarken kullandığı sıfatlara ve incelenmiş çalışmada verildiyse ses kaynaklarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma kriterinin fazla olması çelişkili sonuçlar olabilmesine yol açmıştır. Örneğin Veleli Karabaş Parkı'nın işitsel ortamı bilimsel anket çalışması ve serbest yorum analizinde pozitif bulunmuş, ancak ortamı tanımlayan sıfatlar iki çalışmada çeliştiği için sonuç uyumsuz sayılmıştır. Sesle ilgili yorumları incelenen 43 alandan 12 adetinin analiz sonuçları anket çalışmalarıyla uyumsuzken 31 adetindeki uyumludur. Bu yaklaşık %72'lik bir tutarlılık oranına denk gelmektedir. Öte yandan bazı alanlarda sesle ilgili yorum sayısı oldukça kısıtlıdır. Sesle ilgili yorum oranı %5'in altında olan sonuçlar çıkarıldığında tutarlılık oranı %75,76'ya çıkmaktadır. Buna göre serbest yorumlar üzerinden yapılan DDİ analizinin işitsel peyzaj çalışmaları için çoğunlukla tutarlı olduğu, yapılacak çalışmalar için veri sağlayabilen araç olarak kullanılabileceği görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, serbest kullanıcı yorumlarının işitsel peyzaj çalışmaları için kullanılması adına bir deneme niteliğindedir. Bu bağlamda Google Maps serbest yorumları üzerinde DDİ uygulamasının işitsel peyzaj çalışmalarında kullanılması üzerine bir deneme yapılmıştır. Çalışmanın kısıtlarından biri Google Maps uygulamasında yorumların yol, bulvar, cadde gibi alanlar için yapılamamasıdır. Bu durum, anketli işitsel peyzaj çalışması yapılmış birçok cadde ve bulvarı çalışma kapsamının dışında bırakmıştır. Bir diğer kısıt yorum sayısıdır. Google Maps yorumları kısıtlı miktarda çekilebildiğinden çalışma kapsamında her alan için öne çıkan 100 yorum analiz edilmiştir. Bu sayı işlek olmayan alanlarda toplam yorum sayısının üstüneyken, merkezi alanlarda mevcut serbest yorumların çok küçük bir bölümünü temsil etmiştir. Öne çıkan 100 yorumda sesle ilgili yorumların az olması, kullanıcıların ses algısının yüksek olmadığını gösterirken sonuçların doğruluğu açısından bir kısıt teşkil etmektedir. Bir diğer kısıt, yorumların rastgele yapılabilmesi ile yorumların ve önceki çalışmaların tarihleri arasındaki uyumsuzluktan kaynaklı olası tutarsızlıklardır.

Analiz çalışmaları sürecinde dört araştırma sorusu üzerinden ilerlenmiş ve sonuçlar, bilimsel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. İncelenen çalışmaların anket ölçekleri ve işitsel

ortamla ilgili sonuçları birbiriyle örtüşmemektedir. İşitsel ortamın olumlu ya da olumsuz algısına, ortamı tanımlayan sıfatlara, sembol ses ve ses kaynaklarına odaklanan farklı çalışmalar mevcuttur. Bunların bir araya getirilmesi, bazı alanlarda araştırma sorularının bir kısmında önceki çalışmalarla uyumlu, bir kısmında uyumsuz sonuçlar alınmasına neden olmuştur. Benzer yöntem kullanılacak gelecek çalışmalarda anket ölçeğiyle tamamen örtüşen, daha az çalışma alanı için daha fazla yorum içeren analizlerin yapılmasıyla daha doğru sonuç alınacağı öngörülmektedir. Öte yandan analizler literatür araştırması sonucu belirlenen anahtar sözcükler üzerinden yapılmıştır. Farklı sözcük gruplarıyla farklı sonuçlar alınması olasıdır.

Çalışmanın sonucunda serbest yorumlar üzerinden DDİ yöntemiyle analiz yapılarak işitsel peyzaj çalışmaları için veri sağlanabileceği görülmüştür. Serbest yorumlar kullanıcıya standardize edilmiş anket çalışmalarından daha özgür şekilde fikirlerini belirtme fırsatı sunmaktadır. Bu yorumlar üzerinden yapılacak analizler, kullanıcının işitsel ortamla ilgili fikirlerini daha geniş bir çerçeveden anlamak için değerlendirilebilir. Yöntemin araştırma alanına göre farklı anahtar sözcük grupları, farklı araştırma soruları ve daha fazla serbest yorumla tekrarlanarak sonraki çalışmalarda kullanılması mümkündür. Araştırma soruları oluşturulup buna paralel anket ve DDİ analizleri yapılmasıyla kullanıcı yorumlarını anlamak için iki farklı yöntem kullanılmasının işitsel peyzaj çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] R. M. Schafer, *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Rochester, Vermont: Destiny Books, 1994.
- [2] A. Mitchell vd., “The Soundscape Indices (SSID) Protocol: A Method For Urban Soundscape Surveys—Questionnaires with Acoustical and Contextual Information”, *Applied Sciences*, c. 10, sy 7, s. 2397, Nis. 2020, doi: 10.3390/app10072397.
- [3] M. Masullo vd., “A Questionnaire Investigating the Emotional Salience of Sounds”, *Applied Acoustics*, c. 182, s. 108281, Kas. 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2021.108281.
- [4] A. L. Brown, T. Gjestland, ve D. Dubois, “Acoustic Environments and Soundscapes”, in *Soundscape and the Built Environment*, Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016.
- [5] A. Özçevik, “İşitsel Peyzaj – Soundscape’ Kavramı İle Kentsel Akustik Konforun İrdelenmesinde Yeni Bir Yaklaşım”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2012.
- [6] S. Durbridge ve D. T. Murphy, “Assessment of Soundscapes Using Self-report and Physiological Measures”, *Acta Acustica*, c. 7, s. 6, 2023, doi: 10.1051/aacus/2022059.
- [7] S. Mancini, A. Mascolo, G. Graziuso, ve C. Guarnaccia, “Soundwalk, Questionnaires and Noise Measurements in a University Campus: A Soundscape Study”, *Sustainability*, c. 13, sy 2, s. 841, Oca. 2021, doi: 10.3390/su13020841.
- [8] ISO Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and Conceptual Framework, ISO-12913-1:2014, 2014.
- [9] F. Aletta, T. Oberman, A. Mithcell J. Kang ve SATP Consortium “Preliminary Results of the Soundscape Attributes Translation Project (SATP): Lessons Learned and Next Steps”, *Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy, 2023, sy: 701-705 doi: 10.61782/fa.2023.0095
- [10] P. N. Dökmeci Yörükoğlu Ö. Türker Bayrak, N. Akbulut Çoban, U. B. Erçakmak Osmalı, F. Aletta, vd. “Translation of Soundscape Perceptual Attributes from English to Turkish”, *Applied Acoustics*, c. 209, m. 109301, 2023, doi: 10.1016/j.apacoust.2023.109391.
- [11] F. Aletta, A. Astolfi, J. Kang, T. Oberman, A. Mitchell, “Soundscape Attributes Translation: Current Projects and Challenges”, *Applied Acoustics*, c. 288, m. 110305, 2025, doi: 10.1016/j.apacoust.2024.110305.
- [12] F. Aletta, A. Mitchell, T. Oberman, J. Kang, S. Khelil, T. A. K. Bouzir vd. “Soundscape Description in Eighteen Languages: Translation and Validation Through Listening Experiments”, *Applied Acoustics*, c. 224, m. 110109, 2024, doi: 10.1016/j.apacoust.2024.110109.
- [13] N. G. D. Peixoto, L. R. Ferreira, R. C. Alfonso, V. G. Comissoli, L. M. Monteiro, “A Methodological Approach for Soundscape Attributes Translation Using Twitter Data: A Case Study in the Portuguese Language”, *Applied Acoustics*, c. 218, m. 109880, 2024, doi: 10.1016/j.apacoust.2024.109880.
- [14] J. Li, Y. Huang, R. Han, Y. Zhang, ve J. Kang, “Indoor Soundscape Perception and Soundscape Appropriateness Assessment While Working at Home: A Comparative Study with Relaxing Activities”, *Buildings*, c. 15, sy 15, s. 2642, Oca. 2025, doi: 10.3390/buildings15152642.
- [15] Z. Rachman, F. Aletta, ve J. Kang, “Exploring Soundscape Assessment Methods in Office Environments: A Systematic Review”, *Buildings*, c. 14, sy 11, s. 3408, Kas. 2024, doi: 10.3390/buildings14113408.
- [16] A. L. Brown, J. Kang, ve T. Gjestland, “Towards Standardization in Soundscape Preference Assessment”, *Applied Acoustics*, c. 72, sy 6, ss. 387-392, 2011, doi: 10.1016/j.apacoust.2011.01.001.

- [17] J. Kang, "Soundscape in City and Built Environment: Current Developments and Design Potentials", City Built Environment, c. 1, sy 1, s. 1, Oca. 2023, doi: 10.1007/s44213-022-00005-6.
- [18] H. I. Jo ve J. Y. Jeon, "Urban Soundscape Categorization Based on Individual Recognition, Perception, and Assessment of Sound Environments", Landscape Urban Planning, c. 216, s. 104241, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104241.
- [19] F. Aletta, J. Kang, ve Ö. Axelsson, "Soundscape Descriptors and a Conceptual Framework for Developing Predictive Soundscape Models", Landscape Urban Planning, c. 149, ss. 65-74, 2016, doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.02.001.
- [20] A. Özçevik ve Z. Y. Can, "A Field Study on the Subjective Evaluation of Soundscape", Acoustics, Nantes, France, 2012, sy. 2121-2126.
- [21] M. Y. Wallace, "Peyzaj Mimarlığında 'Akustik Ekoloji': Sespeyzajlarının İzmir Kenti Örneğinde İrdelenmesi", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2012.
- [22] S. Bahalı, "Gezi Parkı-Tünel Meydanı Güzergahı Üzerinde Kentsel İşitsel Ortam – Soundscape – Araştırması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [23] Ü. C. Arslan, "İşitsel Peyzajın Kent Akustiğine ve Duyusal Beklentilere Etkisi, Antalya Örneği", Yüksek Lisans Tezi, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi, 2019.
- [24] G. Akın Güler, "Kentsel Alanlarda Sessiz/Sakin İşitsel Peyzajların Belirlenmesine Yönelik Bir Yaklaşım ve Türkiye İçin Bir Model Önerisi", Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2022.
- [25] N. E. Öncül, "Kentsel Mekanların İşitsel Peyzaj Kalitesinin Değerlendirilmesi: Çanakkale Kent Merkezi Örneği", Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, 2023.
- [26] Z. S. Öztürk, "Mekansal Değişimin İşitsel Peyzaja Etkisi: İstanbul Kara Surları Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2023.
- [27] Z. Ç. Heyik, "Suyla Bütünleşik Mekanların İşitsel Peyzaj Algısı Üzerindeki Etkileri: Galata Köprüsü Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2024.
- [28] H. Kılıçaslan, A. Argan, ve Ş. N. Çelik, "Kentsel Ses Peyzajında Bellek Arayüzleri: Trabzon Kent Merkezi", Planarch, c. 8, sy 1, ss. 25-37, Mar. 2024, doi: 10.54864/planarch.1456500.
- [29] D. Çakır Aydın ve S. Yılmaz Demirkale, "Predicting The Urban Sound Environment Pleasantness With The Soundscape Approach by Fuzzy SMRGT Method: A Case Study in Diyarbakır Suriçi", Megaron, c. 19, sy. 2, ss. 152-160, 2024, doi: 10.14744/megaron.2024.76736.
- [30] G. Delikan ve S. Pouya, "Açık Yeşil Alanlarda Ses Peyzajın İncelenmesi: Malatya Örneği", Uluslararası Mühendislik, Tasarım ve Teknoloji Dergisi, c. 7, sy 1, ss. 21-30, Ağu. 2025, doi: 10.70669/ijedt.1535572.
- [31] E. Adalı, "Doğal Dil İşleme", Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, c. 5, sy 2, 2012.
- [32] WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: Executive Summary, WHO/EURO:2018-3287-43046-60243, 2018.
- [33] B. Truax, "Speech, Music, Soundscape and Listening: Interdisciplinary Explorations", Interdisciplinary Science Reviews, c. 47, sy 2, ss. 279-293, Nis. 2022, doi: 10.1080/03080188.2022.2035103.
- [34] ISO Acoustics — Soundscape — Part 2: Data Collection and Reporting Requirements, ISO/TS 12913-2:2018, 2018.
- [35] A. Özçevik ve Z. Yüksel Can, "A Study On the Documentation and Analysis of the Urban Acoustical Environment in Terms of Soundscape", Megaron, c. 7, sy 2, ss. 129-142, 2012.

- [36] M. Lionello, F. Aletta, ve J. Kang, “On the Dimension and Scaling Analysis of Soundscape Assessment Tools: A Case Study About the ‘Method A’ of ISO/TS 12913-2:2018”, 23rd International Congress on Acoustics, Aachen, Germany, 2019, ss. 6708-6715, doi: 10.18154/RWTH-CONV-239311.
- [37] Gustavino, C. "The Ideal Urban Soundscape Investigating the Sound". Acta Acustica United with Acoustica. Vol. 92, 945-951, 2006.
- [38] E. Ratcliffe, “Sound and Soundscape In Restorative Natural Environments: A Narrative Literature Review”, Frontiers in Psychology, c. 12, s. 570563, Nis. 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.570563.

SANAL GERÇEKLİK ORTAMINDA TAT DENEYİMİ: RENK VE SESİN ROLÜ

Mohamed Abderrahmane Mekouar¹, Mine Aşçıgil Dincer², Derya Çakır Aydın³

¹⁻²**Bahçeşehir Üniversitesi**, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

e-posta: mohamed.mekouar@bahcesehir.edu.tr , mine.dincer@bau.edu.tr

³**Gebze Teknik Üniversitesi**, Gebze, Kocaeli, Türkiye

e-posta: deryacakir@gtu.edu.tr

ÖZET

Tat alma duyusunun kişisel ve çevresel faktörlerden etkilendiği bilinmektedir. Bu araştırma, çoklu duyuşal değişikliklerin çikolata parçacıklı kurabiyenin tat algısını nasıl etkileyebileceğini anlamayı amaçlamaktadır. İşitsel ve görsel tasarımları farklılık gösteren dokuz sanal gerçeklik (VR) ortamı oluşturmak için Enscape kullanılmıştır. Sanal ortamda koyu, orta ve açık olmak üzere üç farklı renk şemasıyla bir kahve dükkanı tasarlanmış, gerçek hayattaki kahve dükkanlarında yapılan üç ses kaydı, sakin, olağan ve gürültülü olarak seçilmiştir. Ses kayıtları ayrıca psikoakustik metrikler açısından analiz edilerek işitsel ortamın duyuşal niteliği sayısal olarak değerlendirilmiştir. Otuz öğrenciye sanal gerçeklik ortamındaki tat değişimlerini değerlendirmek için anket uygulanmıştır. İstatistiksel testler, tat algısının işitsel ortamdaki değişikliklerden etkilendiğini kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Ses algısı, tat algısı, ses kaydı, renk, sanal gerçeklik.

TASTE EXPERIENCE IN VR: THE ROLE OF COLOR AND SOUND

ABSTRACT

The sense of taste is known to be influenced by personal and environmental factors. This research aims to understand how multisensory changes can affect the taste perception of chocolate chip cookies. Enscape was used to create nine virtual reality (VR) environments with varying auditory and visual designs. A coffee shop was designed in the virtual environment with three different color schemes: dark, medium, and light. Three audio recordings from real-life coffee shops were selected for quiet, regular, and loud sound. The audio recordings were also analyzed in terms of psychoacoustic metrics to numerically evaluate the sensory quality of the auditory environment. Thirty students were surveyed to assess taste changes in the virtual reality environment. Statistical tests demonstrated that taste perception is affected by changes in the auditory environment.

Keywords: Sound perception, taste perception, sound recording, color, virtual reality.

1. GİRİŞ

Yiyecek ve içecek tüketimi sırasında maruz kalınan görsel ve işitsel uyaranlar, bireylerin tat ve lezzet algılarını önemli ölçüde şekillendirebilmektedir [1,2]. Bu alana yönelik bilimsel ilginin artmasıyla birlikte, ses, renk ve doku gibi duyuşsal ipuçlarının yeme deneyimini nasıl etkilediğine dair çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş ve bu etkilerin altında yatan mekanizmalar daha ayrıntılı biçimde araştırılmaya başlanmıştır. Özellikle, bir atıştırmanın çıkardığı çıtırtı ya da bir içeceğin gazlı sesi gibi yiyeceğe özgü işitsel unsurların, bireylerin duyuşsal değerlendirmelerini ve bu ürünlerden aldıkları haz düzeyini etkileyebildiği gösterilmiştir [3,4]. Ses ve renk gibi dışsal faktörler, yiyeceğin fiziksel özelliklerinden bağımsız olarak çoklu duyuşsal bir bağlam oluşturarak, tat deneyiminin niteliğini çeşitli düzeylerde değiştirebilmektedir.

Bu bağlamda yapılan araştırmaların bir kısmı, özellikle müzik ve müzik türlerinin etkilerine odaklanmış; arka plan müziğinin, algılanan tatlılık düzeyinden yemeğin genel beğenisine kadar çeşitli boyutlarda etkili olabileceğini ortaya koymuştur [5,6,7]. Ancak, müzikle karşılaştırıldığında, görsel ortam düzenlemeleri ve arka plan gürültüsü gibi çevresel görsel ve işitsel faktörlerin lezzet algısı üzerindeki etkileri görece daha az incelenmiştir [8].

Bu çalışma, kahve dükkanı ortamlarında sunulan çikolata parçacıklı kurabiyelerin lezzet algısının, görsel ve işitsel çevresel faktörler tarafından nasıl etkilendiğini araştırmayı amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

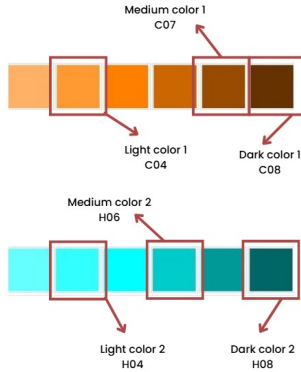
Bu çalışmada, sanal gerçeklik ortamında görsel ve işitsel uyaranların tat algısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneysel bir yöntem uygulanmıştır. Üç boyutlu bir kahve dükkanı modeli oluşturulmuş ve açık, orta, koyu olmak üzere üç farklı renk teması tasarlanmıştır. İşitsel uyaranlar, gerçek kafelerde kaydedilen üç farklı ses ortamı (sakin, olağan, gürültülü) ile oluşturulmuştur. Sanal gerçeklik laboratuvarında gerçekleştirilen deneyde, üniversite öğrencisi katılımcılar 9 farklı sanal ortamı deneyimlerken çikolata parçacıklı kurabiye tatmış ve tat algısına yönelik anket doldurmuştur. Ses kayıtları psikoakustik metrikler ile, anketler ise istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir.

2.1. Sanal gerçeklik ortamı tasarımı

Testin görsel uyaranlar kısmı için, önce SketchUp üç boyutlu modelleme yazılımı kullanılarak ayrıntılı bir kahve dükkanı 3 boyutlu modeli hazırlanmıştır. Mekanın düzeni ve kahve dükkanını uygun şekilde donatmak için gereken tüm unsurlar (masalardan ve sandalyelerden barista tezgahına, kahve makinelerinden pasta ve tatlı teşhir alanına kadar) tasarlanmış ve/veya içe aktarılmıştır. Renk atama sürecini başlatmak için bu 3 boyutlu kahve dükkanı modelinin 3 adet birebir kopyası yapılmıştır.

Açık, Orta ve Koyu renkler için, her biri iki renk tonuna sahip ancak değer açısından birbirinden farklı olan renkler tasarlanmıştır (Şekil 1). Açık 3 boyutlu model için ilk renk RGB referansı `rgba(255,154,50,255)` ve ikinci rengin RGB referansı `rgba(50,255,255,255)`'dir. Orta model için, 1. renk RGB referansı `rgba(153,75,0,255)` ve 2. renk RGB referansı `rgba(0,204,203,255)`'dir. Üçüncü 3 boyutlu model olan Koyu renk modele gelince, 1. renk RGB referansı `rgba(102,50,0,255)` ve 2. renk RGB referansı `rgba(0,103,102,255)`'dir.

Renkler modellere sırasıyla açık renkten koyu renge uygulandıktan sonra, her biri yüksek kaliteli görüntüler ve renderlar üreten ve VR için standart kullanım olan gerçek zamanlı bir 3 boyutlu görselleştirme yazılımı olan Twinmotion'a aktarılmıştı. Twinmotion, her modelin malzemeleri ve dokuları üzerinde çalışılmasını ve bitki örtüsünden araçlar gibi hareketli parçalara kadar, aydınlatma ve dış mekan düzenlemelerinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Şekil 2, koyu renk şemasına sahip VR modeli örneğini göstermektedir.



Şekil 1. 3 boyutlu modeller için kullanılan renk yapılandırmaları.



Şekil 2. Koyu renk şemasına sahip 3 boyutlu model örneği.

Ses örnekleri, çeşitli gerçek kafelerde B&K 2270 ses seviyesi ölçer kullanılarak çift kanallı olarak kaydedilmiştir. Daha sonra Pulse Reflex yazılımı kullanılarak ses klipleri oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Psikoakustik metriklerinden gürülük (loudness), keskinlik (sharpness) ve pürüzlülük (roughness) hesaplamaları yapılmıştır.

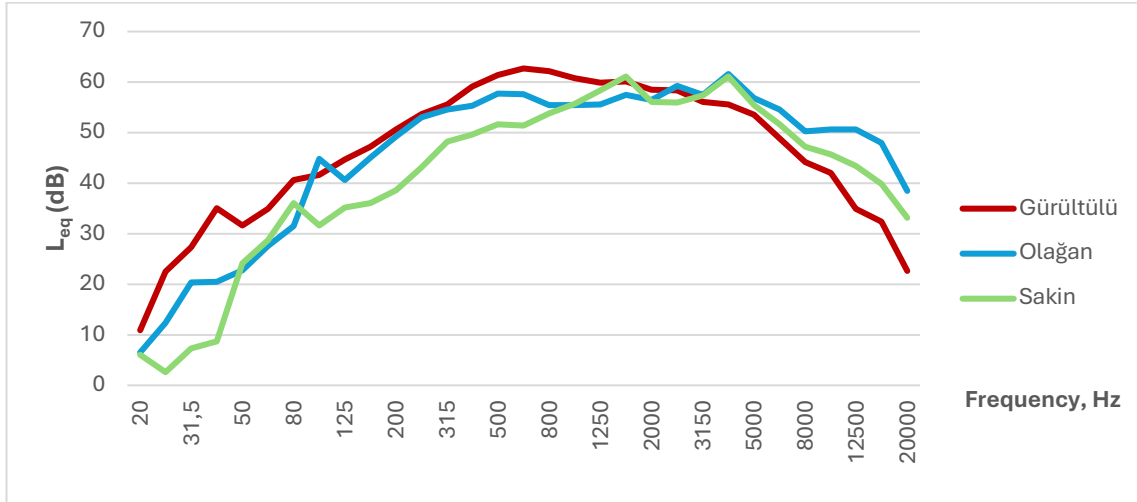
Üç ses kaydı kullanılmıştır: Sakin, Olağan ve Gürültülü. Şekil 3, bu çalışmada kullanılan ses kayıtlarının frekans spektrumunu göstermektedir.

Gürültülü ses kaydı, pencereleri açık, kalabalık bir kafede yapılmıştır. İnsan konuşma sesleri, hafif müzik, kahve yapma ve trafik seslerini içermektedir ve L_{Aeq} değeri 70,9 dB(A)'dır. 1/3 oktav bant analizi, 50 Hz civarında ve ardından 80 Hz civarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu düşük frekansların, ses klibinde yer alan motosiklet gürültüsüyle ilişkili olduğu bulunmuştur [9]. İnsan konuşmasının etkisi 315 Hz ile 3150 Hz arasında görülebilir (Şekil 3).

Olağan ses kaydı, kalabalık bir kafede yapılmıştır. İnsan konuşma sesleri, hafif müzik, kahve yapma ve servis seslerini içermektedir ve L_{Aeq} değeri 69,1 dB(A)'dır. Bu değer, trafik gürültüsü içeren ilk ses örneğinden 1,8 dB(A) daha düşüktür. 1/3 oktav bant analizi, 100 Hz civarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu, süt buharlayıcı ve kahve makinesi sesinin etkisidir. İnsan konuşmasının etkisi 250 Hz ile 3150 Hz arasında görülebilir. 4000 Hz'deki tepe noktası, tabak ve yemeklerin hareket ettirilmesi ve bırakılmasıyla ilişkilendirilebilir (Şekil 3).

Sakin ses kaydı, sakin bir kafede gerçekleştirilmiştir. Çok hafif müzikler, kahve hazırlama ve servis sesleri içermektedir ve L_{Aeq} değeri 68,0 dB(A)'dır. Kalabalık kafe (olağan) ses örneğinden 1,9 dB(A) daha düşüktür. 1/3 oktav bant analizi, 80 Hz civarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu, süt köpürtme ve kahve makinesi sesinin etkisidir. İnsan konuşmasının etkisi 315 Hz ile 3150 Hz arasında görülebilir. 1600 Hz ve 4000 Hz'deki pikler, tabak ve metal bir süt sürahisinin yere bırakılmasıyla ilişkilendirilebilir.

Ses kayıtlarının L_{Aeq} değeri farkları oldukça az olsa da, Şekil 3'teki frekans spektrumu dağılımı incelendiğinde, 30-50 Hz aralığında, 100-1000 Hz aralığında ve 3000 Hz üzerinde, ses kayıtlarının L_{eq} değerleri arasındaki farkların açıldığı rahatlıkla görülmektedir. Bu bölgelerde fark edilebilme sınırının rahatlıkla aşıldığı ve kayıtların birbirinden ayrıştığı anlaşılabılır.



Şekil 3. Ses kayıtlarının frekans spektrumu.

Bu sanal gerçeklik ortamı deneyi ve anketi, Bahçeşehir Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, VR Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvarı kullanan ekipmanlar şunlardır: HTC VIVE Pro 2 Kulaklık, VIVE Link Kutusu (2.0), DisplayPort ve USB 3.0 Kabloları, Mini Display Port - Display Port Adaptörü, Güç Adaptörleri, iki Kontrol Cihazı (2018) ve iki SteamVR Baz İstasyonu 2.0.

2.2. Anket tasarımı

Anket formu, bilgilendirilmiş onamla başlamıştır ve cinsiyet, yaş, meslek, gürültü hassasiyeti ve daha önce çikolata parçacıklı kurabiye deneyip denemedikleri gibi kişisel sorularla devam etmiştir. Ardından, 0 ile 10 arasında bir ölçekle tat algısı üzerine on soru (Tatlılık, Tazelik, Doku, Çıtırılık, Çiğnenebilirlik, Yumuşaklık, Kuruluk, Aroma yoğunluğu, Genel tat ve Tatmin) sorulmuştur. Bu soru seti, her farklı sanal ortam için 9 kez tekrarlanmıştır.

Tüm testlerde Subway çikolata parçalı kurabiye kullanılmış, her testten önce sistematik bir şekilde hazırlanan taze pişmiş kurabiyeler sipariş edilmiştir.

Ankete toplam 30 üniversite öğrencisi katılmıştır. Tüm katılımcılar 18 yaşın üzerindedir ve çalışmaya katılmadan önce bilgilendirilmiş onam vermişlerdir. Katılımcılar, herhangi bir tat, koku veya işitme bozukluğu yaşamadıklarını, yani çalışmanın kriterlerini karşıladıklarını doğrulamışlardır.

Katılımcı VR Laboratuvarı'na girdiğinde, iki SteamVR baz istasyonu arasında bulunan sandalyeye oturması istenmiştir. Önlerindeki masada VR başlığını, çikolatalı kurabiye porsiyonlarının verileceği bir tepsiyi, suyu ve anket sorusuna iliştilmiş bir formu bulunmaktadır. Katılımcılardan önce önlerindeki formu okuyup doldurmaları istenmiştir. Formu doldurduktan sonra, bir dizi teste katılacaklarını ve her testten önce ve sonra

damaklarını suyla temizlemelerini içereceği açıklanmıştır. Her testte, birer kurabiye parçası tattırılmıştır. Her deney döngüsü, (dokuz testin tamamı) baştan sona kişi başı yaklaşık 45 dakika sürmüştür. Tüm görsel ortamlar (Koyu, Orta ve Açık) ve tüm işitsel ortamlar (Sakin, Olağan, Gürültülü) katılımcılara sırayla sunulmuştur.

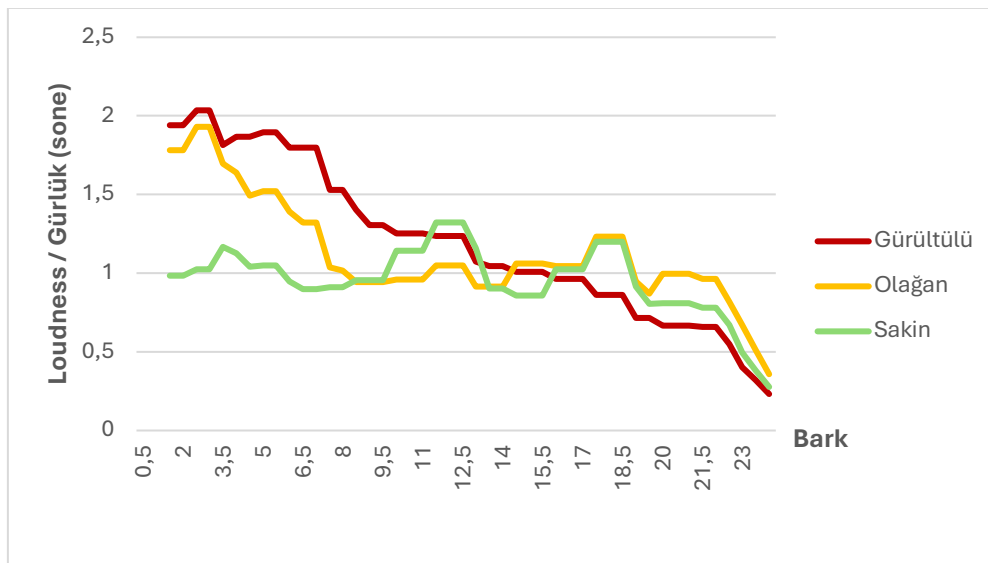
3. BULGULAR

Kullanılan ses kayıtları psikoakustik metrikler açısından değerlendirilmiştir. Otuz adet öğrencinin katıldığı sanal deneyim anketinin sonuçları ortalamalar ve istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir.

3.1. Psikoakustik metrikler

Ses kayıtları gürlük (loudness), keskinlik (sharpness) ve pürüzlülük (roughness) psikoakustik metrikleri açısından incelenmiştir.

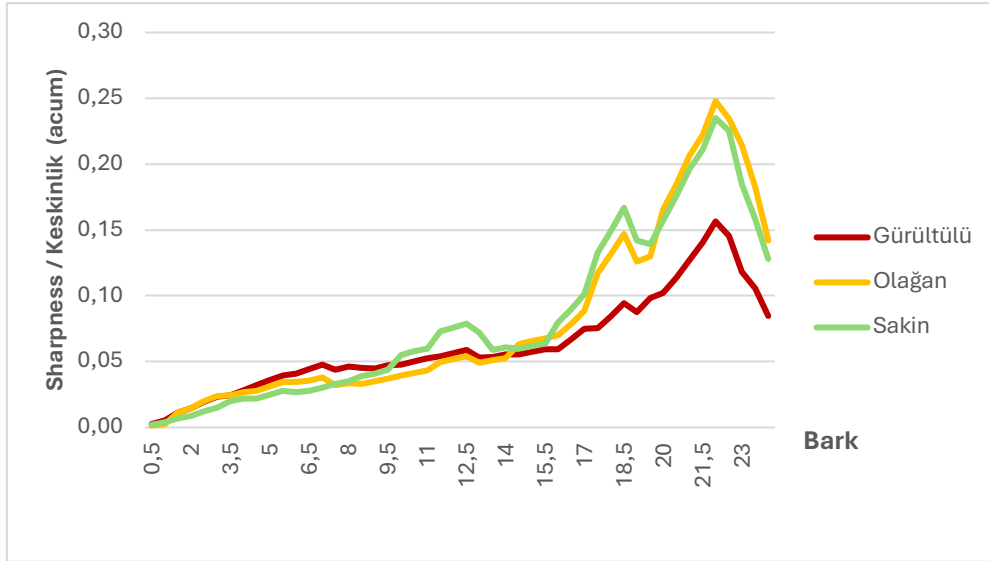
Gürlük (Loudness) değerleri incelendiğinde (Şekil 4), kalabalık ortamlarda (Gürültülü, Olağan) boş ortama kıyasla özellikle düşük Bark bölgelerinde ($\approx 0-6$ Bark) belirgin şekilde daha yüksek gürlük değerleri gözlemlenmiştir. Bu durum, insan kalabalığı ve trafik sesi gibi gürültü kaynaklarının algılanan ses şiddetini artırdığını göstermektedir.



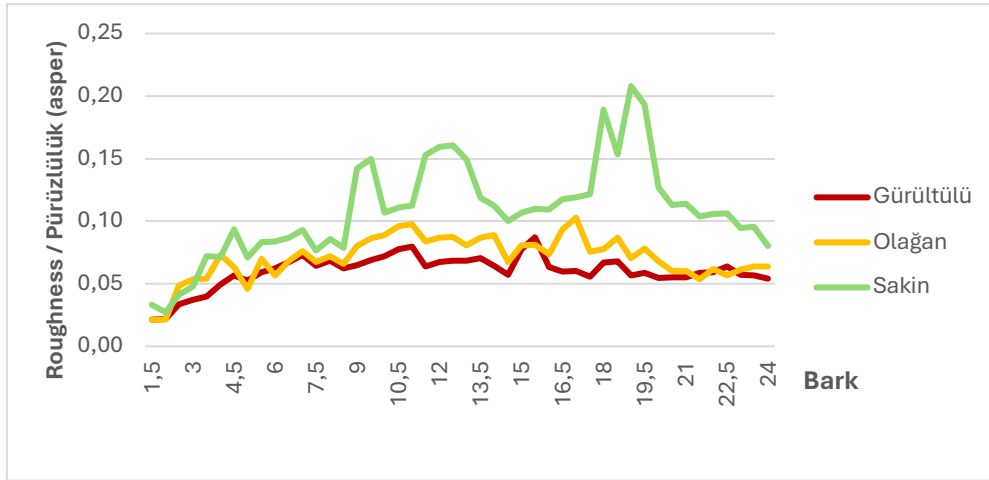
Şekil 4. Ses kayıtlarının gürlük değerleri.

Keskinlik (sharpness) sonuçları sakin ve olağan ortamlarda özellikle yüksek frekans bölgelerinde (20–23 bark) gürültülü kafeye göre daha fazla artış göstermiştir (Şekil 5). Bu bulgu, ortamdaki yüksek frekanslı bileşenlerin keskinlik algısını güçlendirdiğini ve dinleyici açısından daha “keskin” bir işitsel deneyim oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Sakin kafede bu artışın özellikle metal bir süt sürahisinin yere bırakılmasından, tabak ve çatal-bıçak temasları gibi seslerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Olağan ortamdaki kafede ise konuşma seslerinin, tabak, bardak ve servis hareketleri sesleri keskinlik değerlerini yükseltmiştir.

Pürüzlülük (roughness) metriğinin verileri incelendiğinde, kalabalık mekânlarda pürüzlülük değerlerinin nispeten daha düşük olduğunu, boş mekânda ise çınlama ve rezonans etkilerinin daha belirgin olduğu koşullarda pürüzlülüğün yükseldiğini göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Ses kayıtlarının keskinlik değerleri.



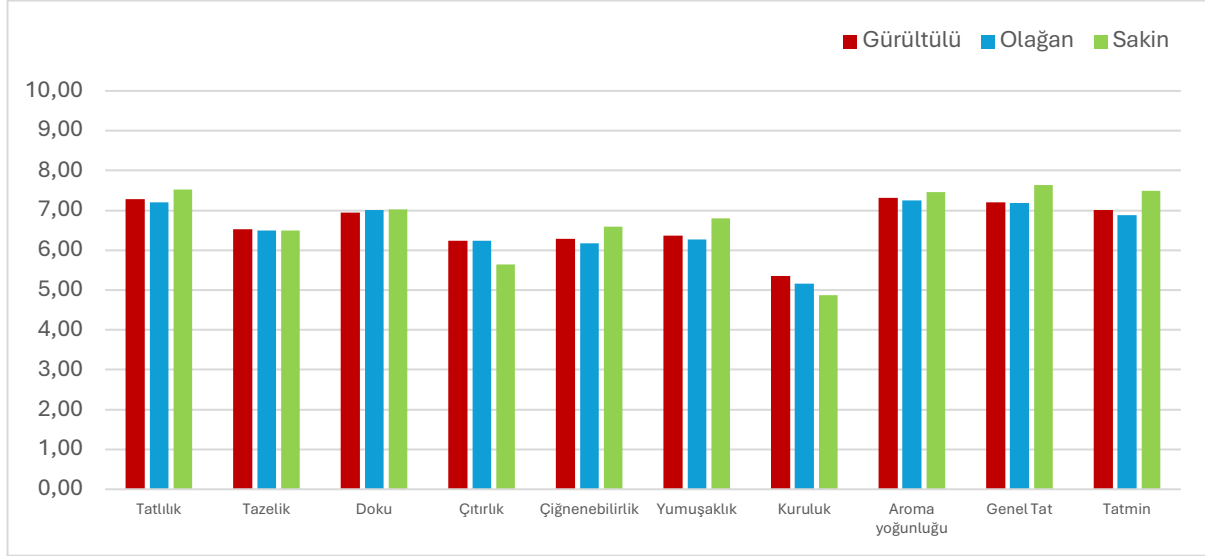
Şekil 6. Ses kayıtlarının pürüzlülük değerleri.

3.2. Anket sonuç ortalamaları

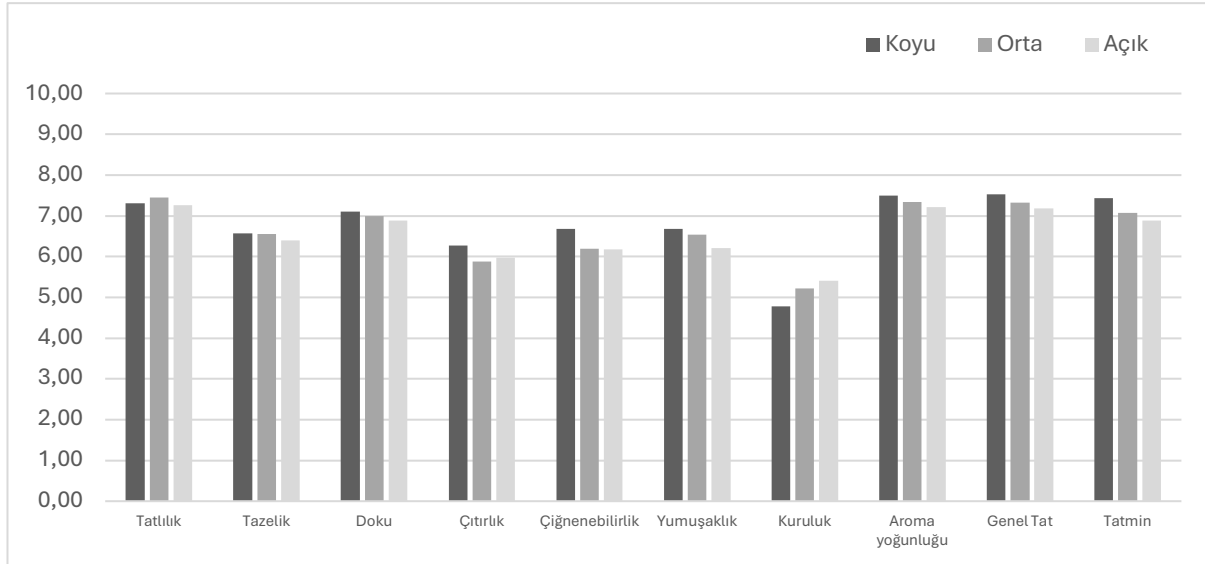
Ankete otuz adet üniversite öğrencisi katılmıştır. Çoğu gürültüye karşı hassas olduklarını belirtmiştir, %50 biraz hassas ve %30 çok hassas olduklarını belirtmiştir.

İşitsel ve görsel ortamların etkisini analiz etmek için 9 farklı ortamın bulguları gruplandırılmıştır. İşitsel ortamlar açısından, Sakin sesli ortam (farklı renklere sahip üç sakin sesli ortam), Olağan sesli ortam (farklı renklere sahip üç olağan sesli ortam) ve Gürültülü sesli ortam (farklı renklere sahip üç gürültülü sesli ortam) gruplandırılmıştır. Görsel ortamlar açısından, Koyu renkli ortam (farklı seslere sahip üç koyu renkli ortam), Orta renkli ortam (farklı seslere sahip üç orta renkli ortam) ve Açık renkli ortam (farklı seslere sahip üç açık renkli ortam) gruplandırılmıştır.

Tat ile ilgili 10 sorunun (Tatlılık, Tazelik, Doku, Çıtırılık, Çiğnenebilirlik, Yumuşaklık, Kuruluk, Aroma yoğunluğu, Genel tat ve Tatmin) her grup için ortalama sonuçları analiz edilmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8). Sakin ortamların, on sorunun sekizinde diğer ses ortamlarından daha pozitif cevaplandığı görülmektedir. Koyu renkli görsel ortamların da, on sorunun sekizinde diğer ses ortamlarından daha pozitif cevaplandığı görülmektedir.



Şekil 7. İşitsel ortamların tat algısı (0-10 skala) üzerindeki ortalama değer bulguları



Şekil 8. Görsel ortamların tat algısı (0-10 skala) üzerindeki ortalama değer bulguları

3.3. İstatistiksel analizler

İstatistiksel hesaplamalar için IBM SPSS Statistics 20 kullanılmıştır. Cronbach's Alpha değeri 0,943'tür; bu nedenle soruların güvenilir olduğu bulunmuştur. ANOVA Homojenlik Varyans Testi'nin Asymp. Sig. değeri 0,05'ten büyük olduğundan veriler homojendir. Shapiro-Wilk testinin sonucu, verilerin normal dağılmadığını göstermiştir (p değeri < 0,05). Dağılım normal olmadığı için parametrik olmayan testlerin kullanılması gerekmiştir.

Spearman korelasyon analizi, duyarlılığın bazı cevaplarla ilişkili olduğunu kanıtlamıştır. Koyu renk ve Sakin ses ortamında gürültü duyarlılığı ile çeşitli tat değişkenleri arasında önemli negatif ilişkiler bulunmuştur: (Tazelik $r_s(28) = -.383$, $p < .05$), (Doku $r_s(28) = -.428$, $p < .05$), (Çıtırılık $r_s(28) = -.445$, $p < .05$), (Genel tat $r_s(28) = -.428$, $p < .05$), (Tatmin $r_s(28) = -.365$, $p < .05$). Sakin ses kaydının keskinlik ve pürüzlülük değerlerinin yüksek olmasının gürültü duyarlılığı yüksek olan katılımcıların tat duyularını negatif olarak etkilediği düşünülebilir.

Sakin-Olağan-Gürültülü ses veya Koyu-Orta-Açık renk yanıt grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını kontrol etmek için Friedman Testi kullanılmıştır. Bu test, 3 veya daha fazla kişiden oluşan grupları karşılaştıran parametrik olmayan bir testtir. Bu değerlendirmeyi yapmak için, gruplar içindeki Likert yanıtları toplanarak gruplar oluşturulmuştur. Friedman testinde, asimptotik anlamlılık (p) $< 0,05$ ise, cevaplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılır. Friedman Testinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunursa, bu grupları ikili olarak karşılaştırmak için Wilcoxon İşaretli Sıra Testi kullanılabilir.

Tat değerlendirme sorusu için (Lütfen kurabiyenizin genel tadını 0 ile 10 arasında derecelendirin) Sakin-Olağan-Gürültülü gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($X_2(2, 30) = 6,46$, $p < .05$) bulunmuştur.

Sakin ses ortamındaki genel tat algısının (Wilcoxon İşaretli Sıra Testi kullanılarak) Gürültülü ses ortamındaki tada göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha iyi olduğu bulunmuştur, $z = -2,08$, $p < .05$. Öte yandan, Durbin-Conover testi (Jamovi yazılımında Friedman'a post-hoc test), hem Sakin-Olağan hem de Sakin-Gürültülü ses ortamı çiftlerinin birbirinden istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı olduğunu ($p < .05$) ortaya koymuştur. Bu test, Sakin ses ortamındaki genel tat algısının, Olağan ses ve Gürültülü ses ortamlarındaki tat algısından daha iyi olduğu sonucuna varmıştır.

Tatmini değerlendiren soruda (Kurabiyeden ne kadar tatmin oldunuz?) Sakin-Olağan-Gürültülü gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($X_2(2,30) = 6,93$, $p < .05$) bulunmuştur. Sakin ses ortamında aldıkları tatminin (Wilcoxon İşaretli Sıra Testi kullanılarak), Olağan ses ortamındaki tat algısından istatistiksel olarak anlamlı derecede daha iyi olduğu bulunmuştur, $z = -2,14$, $p < .05$. Durbin-Conover testi de aynı sonucu ortaya koymuştur.

Renk açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

3.4. Tartışma

Bu çalışmanın sonuçları, işitsel uyaranların algılanan genel tat ve alınan tatmini etkilediğini kanıtlamıştır. Sakin, olağan ve gürültülü koşullar arasında genel tat ve tatmin puanlarında gözlemlenen istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar, mevcut modal duyuşal etkileşimler literatürüyle örtüşmektedir. Spence ve Shankar [10] daha önce, işitsel bağlamanın tat algısını etkilemedeki rolünü vurgulayarak, daha sessiz ve sakin ortamların lezzet yoğunluğunu ve hedonik (bir şeyin ne kadar zevkli algılandığı) değerlendirmeleri artırabileceğini öne sürmüşlerdir. Bulgularımız, katılımcıların sakin işitsel koşullar altında aynı kurabiyelere orta ve gürültülü ortamlara kıyasla sürekli olarak daha olumlu puan vermeleri nedeniyle bunu doğrulamıştır. Çalışma, Istiani ve ark.'nın [8] şehir parkı ve bar seslerinin portakal suyunun

algılanan tatlılığını artırırken, otomat seslerinin acılığını artırdığı yönündeki bulgularına benzer sonuçlar göstermiştir.

Anketlerden elde edilen verileri analiz etmek için kullanılan Friedman ve Wilcoxon testleri, hem genel tat hem de tatmin puanlarının sakin ortamlarda olağan veya gürültülü ortamlara göre önemli ölçüde daha yüksek olduğunu doğrulamıştır. Bu bulgular, daha düşük ses basıncı seviyelerine sahip işitsel ortamların tatlılık algısını ve genel lezzet kalitesini olumlu yönde etkilediğini belirten Velasco ve ark. [11]'nin gözlemlerini ve ayrıca Knoeferle ve ark. [12]'nin yüksek frekanslı veya yüksek ortam gürültüsünün yiyeceklerle ilgili deneyimlerin yoğunluğunu ve keyfini azaltabileceğini gösteren çalışmasını yansıtmaktadır. Mevcut çalışma, bu olguyu standart akustik koşullar ve aynı yiyecek örneklerine tekrar tekrar maruz kalma kullanılarak kontrollü bir ortamda nicelleştirerek bu kanıtlara katkıda bulunmaktadır.

Ayrıca, bu çalışmada, gürültülü işitsel ortamların algılanan tatlılık, tazelik, yumuşaklık, doku ve lezzet yoğunluğu dahil olmak üzere bir dizi duyusal özelliği olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, gürültünün dikkat odaklanmasını ve çoklu duyusal bütünleşmeyi bozarak tat özellikleri ve dokusal unsurların algılanmasını bozduğunu bildiren Yan ve Dando'nun [13] bulgularıyla uyumludur. Bu, işitsel dikkat dağınıklığının yalnızca kişinin zevk ve acı reseptörlerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda birden fazla boyutta duyusal netliği de zayıflattığı yönündeki daha geniş hipotezi desteklemektedir.

Psikoakustik metriklere baktığımız zaman, Sakin ses kaydında bulunan ani seslerin ve çınlayan ortamın pürüzlülük ve keskinlik değerlerini artırmasına rağmen, düşük gürülüğe sahip olmasının genel tat ve tatmin algısını istatistiksel anlamlı olarak daha iyi olmasını sağladığı düşünülebilir.

İlginç bir şekilde, çalışma hem görsel hem de işitsel tat algısına katkıları araştırmayı amaçlasa da, renk değişimlerini içeren görsel etki söz konusu olduğunda istatistiksel olarak anlamlı bir etki bulunamamıştır. Bu durum, işitsel ipuçlarının, özellikle güçlü renk-tat ilişkilerinin olmadığı veya görsel bağlamın aşırı olmadığı durumlarda, görsel uyaranlara kıyasla tat değerlendirmeleri üzerinde daha hızlı ve ölçülebilir bir etkiye sahip olduğunu düşündürülebilir. Bu bulgu, görsel-tat etkileşimlerinin gücünün, sunulan görsel ipuçlarının niteliğine ve önemine bağlı olarak değişebileceğini gösteren önceki araştırmalarla [14] bir ölçüde tutarlıdır.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın sonuçları, işitsel ve tat algısı arasındaki çapraz-modal etkileşimlerin güçlü etkisini vurgulamaktadır. Genel tat değerlendirmelerinin, sakin ses koşullarında en yüksek ve gürültülü ve olağan ses ortamlarına göre önemli ölçüde daha iyi olduğu bulunmuştur. Tatmin olma seviyeleri de benzer bir eğilim izlemiş ve sakin ortamlar önemli ölçüde daha yüksek tatmin sağlamıştır. Gürültü çoğu özelliği olumsuz etkilemektedir; tatlılık, tazelik, doku, yumuşaklık ve lezzet yoğunluğu gürültülü koşullarda azalmıştır.

Renk değişiminin görsel faktörü istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermese de, kanıtlar akustik unsurların tek başına yiyecek algısını ve deneyimini anlamlı bir şekilde şekillendirebileceği hipotezini güçlü bir şekilde desteklemektedir. Bu çalışma, akustik olarak tasarlanmış mekanların ve sakin ses ortamlarının kahve dükkanlarındaki tadı iyileştirdiğini kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] North, A. C., Hargreaves, D. J. and McKendrick, J. In-store music affects product choice. *Nature*, 390(6656), 132, (1997).
- [2] Zellner, D., Geller, T., Lyons, S., Pyper, A. and Riaz, K. Ethnic congruence of music and food affects food selection but not liking. *Food Quality and Preference*, 56, 126–129, (2017).
- [3] Knöferle, K. and Spence, C. Crossmodal correspondences between sounds and tastes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(6), 992–1006, (2012).
- [4] Zampini, M. and Spence, C. The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips. *Journal of Sensory Studies*, 19(4), 347–363, (2004).
- [5] Crisinel, A.S., Cosser, S., King, S., Jones, R., Petrie, J. and Spence, C. A bittersweet symphony: Systematically modulating the taste of food by changing the sonic properties of the soundtrack playing in the background. *Food Quality and Preference*, 24(1), 201–204, (2012).
- [6] Hamid, N., Shepherd, D., Yoo, M.J., Grazioli, G. and Carr, B.T. Listening to music can influence hedonic and sensory perceptions of gelati. *Appetite*, 100, (2016).
- [7] North, A. C. The effect of background music on the taste of wine. *British Journal of Psychology*, 103(3), 293–301, (2012).
- [8] F. F., Masullo, M. Ruggiero, G. and Maffei, L. The influence of multisensory indoor environment on the perception of orange juice. *Food Quality and Preference*, 112, 105026, (2023).
- [9] Lu, Y. Chen, L., Wu, S.F., Hu, J. and Li, H. Analyzing motorcycle low-frequency noise. *Journal of Theoretical and Computational Acoustics*, 30(2), 2250005, (2022).
- [10] Spence, C. and Shankar, M.U. The influence of auditory cues on the perception of food and drink. *Frontiers in Psychology*, 1, 1–13, (2010).
- [11] Jones, R., King, S. and Spence, C. The sound of temperature: What information do pouring sounds convey concerning the temperature of a beverage? *Journal of Sensory Studies*, 29(5), 3
- [12] 35–343, (2014).
- [13] Knoeferle, K. M., Woods, A. T., K  ppler, F. and Spence, C. That sounds sweet: Using crossmodal correspondences to communicate gustatory attributes. *Psychology & Marketing*, 32(1), 107–120, (2015).
- [14] Yan, K. S. and Dando, R. A crossmodal role for audition in taste perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(3), 590–596, (2015).
- [15] Spence, C., Levitan, C. A., Shankar, M. U. and Zampini, M. Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chemosensory Perception*, 3(1), 68–84, (2010).

ONKOLOJİ HASTANESİ BEKLEME ALANLARININ MİMARİ DÜZENLEMELERİNE DAYALI İŞİTSEL PEYZAJ ALGISI DEĞERLENDİRMESİ: BİR PİLOT ÇALIŞMA

Enkela Alimadhi¹

¹Bağımsız Araştırmacı, Ankara, Türkiye
e-posta: enkelaalimadhi@bilkent.edu.tr

ÖZET

Bu pilot çalışma, onkoloji hastanelerinin bekleme alanlarında mimari düzenleme ile işitsel peyzaj algısı arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Türkiye ve Arnavutluk'taki kare ve doğrusal plan tipine sahip iki bekleme alanı değerlendirilmiştir. Veri toplamada ses kayıtları ve anketler kullanılarak hasta ve personel görüşleri alınmıştır. Algılanan ses ortamını değerlendirmek için Türkçe ve Arnavutça'ya uyarlanmış *soundscape attributes (PAQs)* yöntemi uygulanmıştır. Ses basınç seviyesi ölçümlerinde kare düzen için 61,5 dB LAeq, doğrusal düzen için 58,28 dB LAeq değerleri elde edilmiştir. Her iki düzende de insan sesleri baskın kaynak olarak belirlenmiştir. Ancak kare düzen daha *Hareketli*, doğrusal düzen ise daha *Rahatsız Edici* ve *Coşkulu* olarak algılanmıştır. Bulgular, mimari düzenlemenin hastanelerde ses algısını etkilediğini göstermekte ve bekleme alanı tasarımında kullanıcı konforu açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İşitsel peyzaj, onkoloji hastaneleri, bekleme alanı tasarımı, mekânsal düzenleme, ses algısı.

SOUNDSCAPE ASSESSMENT BASED ON ARCHITECTURAL LAYOUTS OF ONCOLOGY HOSPITAL WAITING AREAS: A PILOT STUDY

ABSTRACT

This pilot study explores the relationship between architectural layout and soundscape perception in oncology hospital waiting areas. Two layouts—a square and a linear—were analyzed in Turkey and Albania using audio recordings and surveys with patients and staff. The Perceived Acoustic Quality (PAQ) attributes, adapted into Turkish and Albanian, were used for evaluation. Sound pressure levels averaged 61.5 dB LAeq for the square layout and 58.28 dB for the linear layout. Human sounds dominated both, yet perceptions differed: the square layout was more Eventful, while the linear was more Annoying and Vibrant. Findings indicate that spatial configuration affects soundscape perception and can inform design strategies to improve user comfort in oncology waiting areas.

Keywords: *Soundscape, oncology hospitals, waiting area design, spatial configuration, sound perception*

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte kanser hastaları ve sağ kalanların sayısında belirgin bir artış gözlemlenmektedir. 2022 yılında, 2012’de bildirilen 14,1 milyon vakaya kıyasla, toplam 19,9 milyon yeni vaka (10,3 milyonu erkeklerde, 9,6 milyonu kadınlarda) rapor edilmiştir. Öngörüler, bu sayının 2035 yılına kadar yaklaşık 24 milyona ulaşacağını göstermektedir [1]. Bu bağlamda, onkoloji hastaneleri özel bir önem kazanmıştır; zira hastalar hastalık sürecinin farklı evrelerinde, acil servis başvurularından uzun dönemli yatan hasta bakımına kadar, bu sağlık tesisleri ile sürekli etkileşim içerisinde.

Dünya genelinde kanser hastalarının sayısındaki artış, onkoloji sağlık mekânlarının akustik çevrelerinin sistematik biçimde değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Zira akustik çevre yalnızca hastaların konforu, iyilik hâli ve genel tedavi sonuçları üzerinde değil, aynı zamanda sağlık çalışanlarının deneyimleri üzerinde de önemli etkilere sahiptir [2]. Benzer şekilde, iyi planlanmış bir hastane mekânsal kurgusu da işleyişin etkinliğini artırmak, hataları azaltmak ve hem hastaların hem de çalışanların deneyimlerini iyileştirmek açısından kritik bir rol üstlenmektedir [3].

Ortak önemlerine rağmen, akustik çevre ve mimari yerleşim çoğunlukla birbirinden bağımsız olarak incelenmiştir. Mevcut araştırmaların büyük bir bölümü ya akustik çevrenin optimizasyonuna [4,5] gürültü maruziyetinin veya kirliliğinin değerlendirilmesine [2,6,7] ya da hastane mekânsal düzenlerinin tekil biçimde incelenmesine [3,8] odaklanmaktadır. Oysa önceki dönem çalışmalar, erken tasarım aşamalarında daha bilinçli kararlar alınabilmesi için mimari yerleşimin akustik çevre ile ilişkilendirilmesinin önemini vurgulamaktadır [5,7]. Öte yandan, akustik çevrenin duygusal niteliklere dayalı öznel değerlendirmeler aracılığıyla algısal bir yapı olarak ele alınması, çevrenin bütüncül biçimde değerlendirilmesine imkân tanıyan yerleşik bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, sağlık mekânlarında soundscape (işitsel peyzaj) temelli çalışmalar hâlen sınırlı sayıdadır; özellikle de bu tür araştırmaların oldukça kısıtlı olduğu Arnavutluk bağlamında bu eksiklik dikkat çekicidir [9].

Bu perspektiften hareketle, mevcut çalışma onkoloji bekleme alanlarında mimari yerleşim ile algılanan akustik çevre arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Hastaların deneyiminde kritik noktaları temsil eden bu mekânlarda, kullanıcıların akustik çevreyi nasıl algıladıklarını ortaya koymak amacıyla, SATP projesinden [10] türetilen Algılanan Duygusal Nitelikler (Perceived Affective Qualities – PAQs) ölçeğinin Arnavutça [11] ve Türkçe [12] uyarlamaları uygulanmıştır.

1.1. Hastane mekânsal düzeni

Hastane mekânlarının mimari düzeni, doğrudan kullanıcı deneyimini, dolaşımı, personel verimliliğini ve aşırı kalabalık risklerini etkilemekte; bu nedenle kişisel alanı, gürültü kontrolünün ve işlevsel akışın sağlanabilmesi için erken tasarım kararları kritik bir rol oynamaktadır [5,8]. Günümüzde, hastane düzenlemelerinin standartlaştırılması ve genel performansın artırılması amacıyla giderek artan bir biçimde hesaplamalı tesis yerleşim planlaması kullanılmaktadır [3,8].

Akustik açıdan bakıldığında ise, örneğin yatak odalarının mekânsal düzeni genel gürültüyü azaltmak amacıyla tek kişilik odalara kaymış, ancak bu durum tekdüze ya da yabancılaştırıcı işitsel peyzajların ortaya çıkmasına yol açmıştır [13,14]. Benzer şekilde, uzatılmış koridor düzenleri düşük anlaşılabilirlik ve düşük ses kalitesi ile ilişkilendirilmekte [5,7], bu da hastane

düzeninin tasarımında kullanıcıların algısal akustik değerlendirmelerinin entegrasyonunun önemini göstermektedir.

1.2. Hastane ses algısı

Hastane ortamlarıyla ilgili araştırmalar geleneksel olarak gürültü seviyeleri, kirlilik ve akustik konfor üzerine odaklanmıştır [6,7]. Yoğun bakım üniteleri (YBÜ) [7,13,14] en çok incelenen alanlar olurken, onkoloji hastaneleri hâlâ yeterince araştırılmamıştır [9]. Gürültü ile ilgili sorunları ele almak amacıyla, Türkiye’de ilgili ulusal otoriteler kılavuzlar sağlamaktadır [7,15], benzer şekilde Arnavutluk yakın zamanda akustik konforun önemini vurgulayan hastane tasarım standartlarını yürürlüğe koymuştur (Karar No. 114, 6 Mart 2024) [16].

Buna rağmen, hastaneler uygulamada hâlâ gürültülüdür ve bu durum dinlenme, iyileşme, kaygı düzeyi ve personel verimliliği üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır [6,17]. Sadece objektif ölçümler, ortamlar arasındaki ilgili farklılıkları çoğu zaman yakalayamamaktadır [4]. Duygusal niteliklerin öznel değerlendirmesini içeren işitsel peyzaj yaklaşımı [18], daha bütüncül bir bakış açısı sunmakta [13] ancak sağlık hizmetlerinde uygulaması hâlâ erken aşamadır [9,13,17]. Bununla birlikte, işitsel peyzaj yaklaşımına göre standartlaştırılmış akustik ölçümlerin hastane bağlamında uygunluğu hâlâ tartışmalıdır [17].

2. METOD

Bu pilot çalışma, farklı mimari düzenlere sahip iki onkoloji hastanesi bekleme alanının ses ortamlarını karşılaştırmak amacıyla anket tabanlı bir değerlendirme yöntemi kullanmıştır; alanlardan biri kare düzen, diğeri ise doğrusal düzen konfigürasyonuna sahiptir. Her iki mekân da temsil edici akustik koşulları yakalamak amacıyla yoğun ziyaret saatlerinde değerlendirilmiştir. On dokuz klinik kullanıcı çalışmaya katılmıştır (kare düzen: 10 kişi, doğrusal düzen: 9 kişi). Kare düzen için dengeli bir temsil sağlanmıştır (ortalama yaş = 40,8 yıl; yaş aralığı 25–54, 30% kadın, 70% erkek), doğrusal düzen örnekleme ise yalnızca kadın katılımcılardan oluşmaktadır (ortalama yaş = 42,4 yıl; yaş aralığı 26–70). Her iki kurumdan etik onay ve tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

2.1. Çalışma alanı: hastane bekleme alanları

İlk alan, Ankara Şehir Hastanesi Onkoloji Binası’nda yer almakta olup, ayakta poliklinik içinde yaklaşık 65 m²’lik kareye yakın bir düzene sahiptir. Alanın önünde merkezi olarak bir hemşire istasyonu konumlandırılmış olup, çevresi dolaşım koridoru ve danışma odaları ile çevrilidir (Şekil 1a; Resim 1a).

Şekil 1. (a) Bekleme alanı, kare düzen (b) Bekleme alanı, doğrusal düzen. Ses seviyesi ölçer konumu kırmızı dolu daire ile gösterilmiştir ve dolaşım yolları pembe ile belirtilmiştir.

İkinci alan ise, Tiran'daki "Nënë Tereza" Hastanesi, Onkoloji Hastanesi'nde yer alan doğrusal düzenli bir bekleme alanıdır. Bu alan, ayakta poliklinik bölümünde hem bekleme hem de dolaşım koridoru olarak hizmet vermekte olup yaklaşık 60 m²'lik bir yüzey alanına sahiptir. Danışma odaları ağırlıklı olarak alanın yanlarında sıralanmış olup, herhangi bir hemşire istasyonu bulunmamaktadır. Alan ayrıca, katın diğer bölümlerine erişim sağlayan başka bir koridorla çevrilidir (Şekil 1b; Resim 1b).



Resim 1. İç mekân fotoğrafları: kare biçimli bekleme alanı A (a) ve doğrusal biçimli bekleme alanı B (b)

2.2. Veri toplama

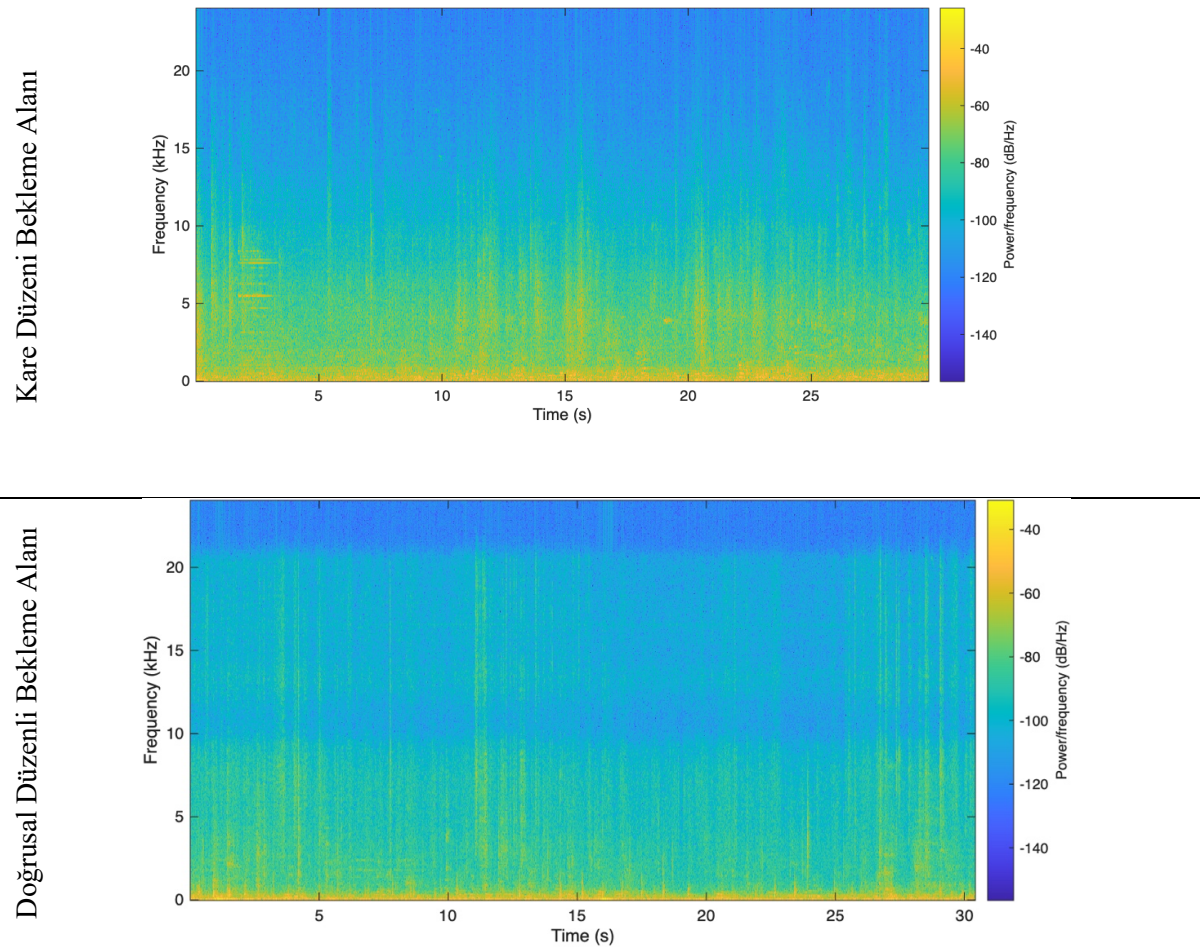
Veriler, iki tamamlayıcı yöntemle toplanmıştır: (i) işitsel peyzaj algısını değerlendiren anket ve (ii) akustik ortamı kaydeden ses kayıtları. Veriler önce Ankara'da, ardından Tirana'da, yoğunluğun en yüksek olduğu saatler olarak belirlenen 10:00–11:00 arası zaman diliminde toplanmıştır.

a. Anket Tasarımı

Anket, daha önce doğrulanmış eşdeğer PAQs çevirilerine [11,12] dayalı olarak Türkçe ve Arnavutça olarak uygulanmıştır. Anket dört bölümden oluşmaktadır: (1) kullanıcıların demografik bilgileri, (2) ses kaynağı baskınlığı, (3) işitsel peyzajın algılanan duygusal nitelikleri ve (4) genel kalite ve uygunluk. Ayrıca, görsel ortamın genel kalitesi ve uygunluğu ISO 12913-2:2018 standardına [18] uygun şekilde değerlendirilmiştir. Türkçe ankette ses kaynakları sorusu ISO/TS 12913-2:2018 standardına benzer şekilde geliştirilirken, Arnavutça ankette ses kaynakları, Lam ve eş yazarların çalışmasına [17] uygun olarak daha çok hastane ortamına göre geliştirilmiştir.

b. Ses kayıtları

Bir ses seviyesi ölçer, Şekil 1’de kırmızı dolgu daire ile gösterilen 1,2 m yükseklikte konumlandırılmıştır. Kare düzenli bekleme alanında ölçümler B&K SPL cihazı ile alınırken, doğrusal düzenli bekleme alanında doğrulanmış bir akıllı telefon uygulaması olan SoundMeter X kullanılmıştır. Ölçülen ses basınç seviyeleri, kare düzenli bekleme alanında (61,5 dB) doğrusal düzenli bekleme alanına (58,28 dB) kıyasla daha yüksek bulunmuş ve gerekli seviyeleri aşmıştır. Ses ortamını görselleştirmek için, Şekil 2’de gösterildiği gibi bir spektrogram sunulmuştur.



Şekil 2. Frekans-zaman spektrogramı

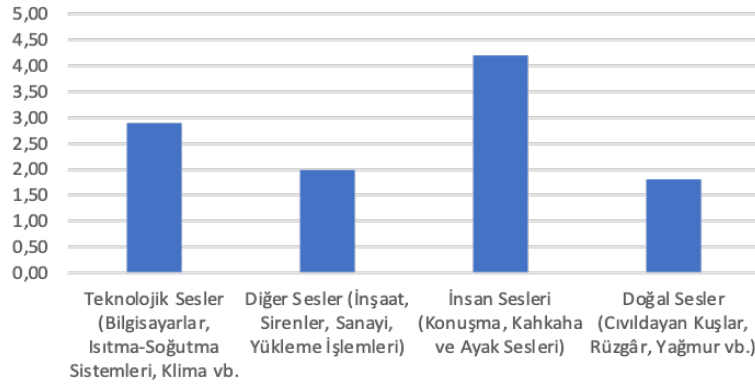
3. BULGULAR

Bu çalışmanın bulguları, iki farklı hastane bekleme alanı düzeninde işitsel peyzaj algısına ilişkin ön bulgular sunmakta ve gelecekteki daha geniş kapsamlı araştırmalar için yol göstermektedir. Bulgular, ISO/TS 12913-2:2018’de belirtilen dört ana bileşene göre sunulmaktadır.

3.2. Ses kaynakları baskınlığı, 1. soru

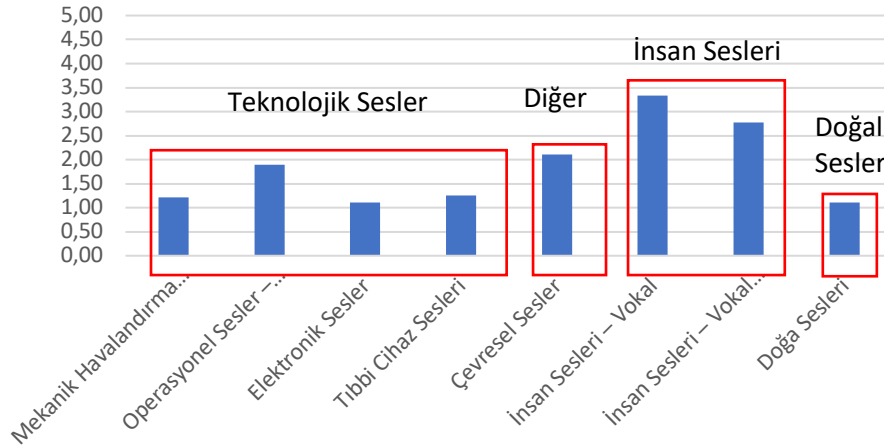
Ses kaynaklarının baskınlığı açısından, bulgular her iki bekleme alanının da ağırlıklı olarak insan kaynaklı seslerle karakterize edildiğini, özellikle konuşmalar ve diğer vokal olmayan insan aktiviteleriyle öne çıktığını göstermektedir; bu durum doğrusal düzenli Arnavutluk örneğinde daha belirgin olarak görülmektedir. Çevresel seslerde, örneğin sirenlerde, kare

düzenli alana kıyasla doğrusal düzenli alanda daha sık rastlanması dikkate değer bir farktır. Bu farklılık, bekleme alanının düzeninden ziyade hastanenin konumuna bağlı olabilir; ancak daha ileri araştırmalar gereklidir.



Şekil 3 Kare düzen bekleme alanında ses kaynağı baskınlığı (ISO/TS 12913-2’e göre)

Teknolojik sesler kare düzenli alanda daha belirgindi; bu durum muhtemelen TV veya otomatik hasta çağırma sistemleri gibi cihazların varlığından kaynaklanmaktadır. Arnavutluk örneğinde ise hastalar doğrudan hemşireler tarafından çağrılmaktaydı.

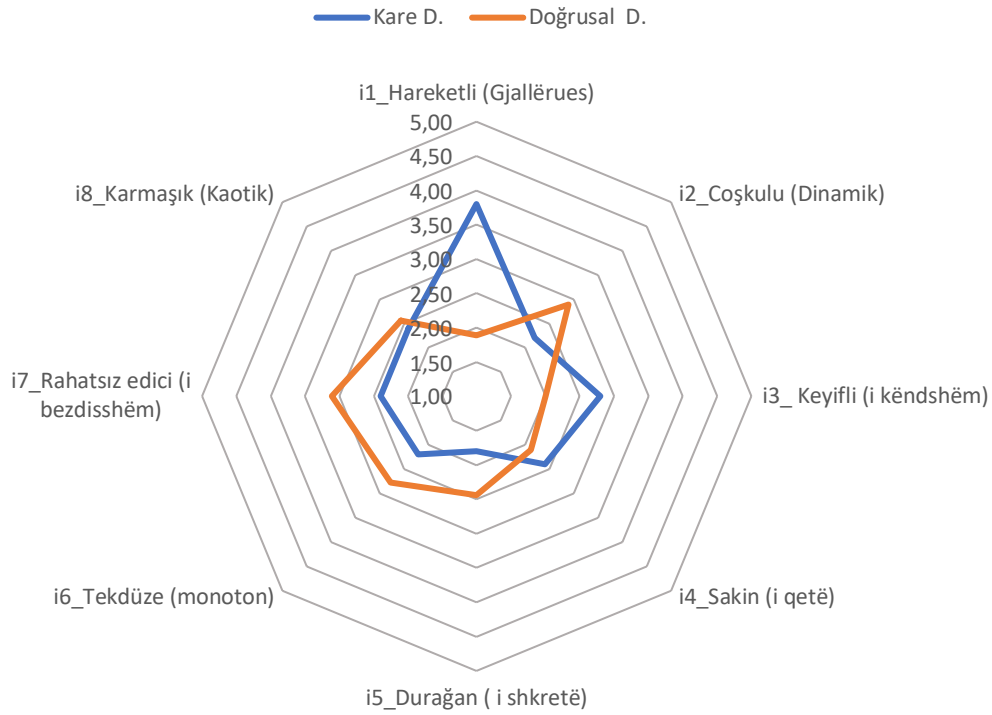


Şekil 4 Doğrusal düzen bekleme alanında ses kaynağı baskınlığı

3.3. İşitsel peyzaj duygusal nitelikler (PAQs), 2. soru

Anketin temel odağı, algılanan duygusal niteliklerin değerlendirilmesiydi; zira bu nitelikler, iki bekleme alanındaki kullanıcıların ses ortamı deneyimlerine doğrudan ilişkin bilgiler sağlamaktadır (ISO/TS 12913-2:2018). Ortalama puan analizleri, kare düzenli bekleme alanının daha “Hareketli” ($M = 3,80$) ve orta düzeyde “Rahat edici” ($M = 2,80$) olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Buna karşılık, lineer düzenli bekleme alanı nispeten daha “Coşkulu” ($M = 2,89$) ancak aynı zamanda “Rahatsız Edici” ($M = 3,11$) olarak algılanmıştır (Şekil 4 ve Tablo 1).

Bu sonuçlar, bekleme alanının konfigürasyonunun akustik deneyimi etkileyebileceğini, daha merkezi mekânların olumlu bir ses peyzajı algısını artırabileceğini, uzatılmış mekânların ise daha bozucu olabileceğini düşündürülebilir. Buna ek olarak, kültürel bir bakış açısıyla, bu sonuç Arnavutluk örneğinde “Çoşkulu” (In: *Vibrant*, Arn: *Dinamik*) teriminin olumsuz bir anlam taşıyabileceğini de düşündürülebilir. Bulgular, kare düzenlerin daha olumlu algılanabileceğini göstermektedir; bu, koridor gibi uzun ve dar mekânların genellikle daha olumsuz değerlendirildiğini ortaya koyan önceki araştırmalarla uyumludur [5]. Ayrıca, bu bulgular, kare hastane düzenlerinin etkinliğini vurgulayan önceki çalışmaları da geçici olarak destekleyerek, bu tür konfigürasyonların ses ortamı açısından da olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir [8].



Şekil 5. İşitsel peyzaj duygusal niteliklerinin dağılımı.

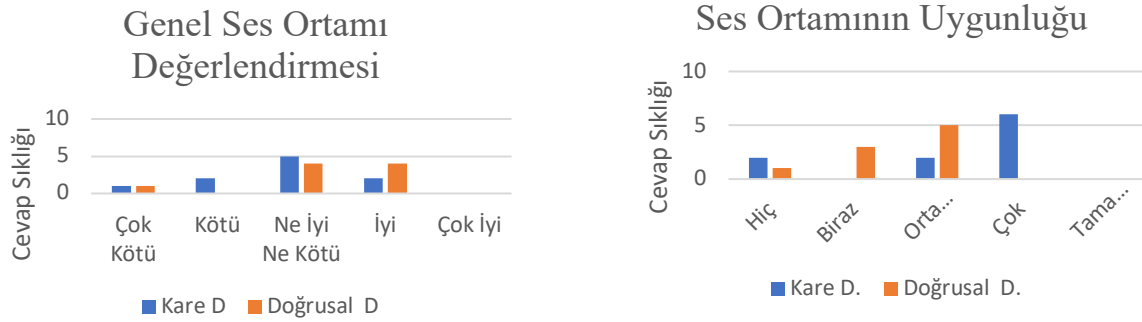
Tablo 1. İşitsel peyzaj duygusal niteliklerinin ortalama puanlarının genel görünümü

PAQ'ler	Kare Düzen (TR) (n=10) M , SD	Doğrusal Düzen (ARN) (n=9) M SD
i1_Hareketli (Arn: <i>Gjallërues</i>)	3,80 (1.39)	1,89 (.92)
i2_Çoşkulu (Arn: <i>Dinamik</i>)	2,20 (.91)	2,89(1.36)
i3_Keyifli (Arn: <i>I këndshëm</i>)	2,80 (1.22)	2,00 (1.11)
i4_Sakin (Arn: <i>i qetë</i>)	2,40(1.07)	2,11(1.38)
i5_Durağan (Arn: <i>i shkretë</i>)	1,80 (.78)	2,44(1.23)
i6_Tekdüze (Arn: <i>Monoton</i>)	2,20 (1.03)	2,78 (1.20)
i7_Rahatsız Edici (Arn: <i>i bezdisshëm</i>)	2,40(1.35)	3,11(1.45)
i8_Karmaşık (Arn: <i>Kaotik</i>)	2,40 (1.35)	2,56 (1.42)

Not: ARN: Arnavutça veya Arnavutluk anlamına gelmektedir.

3.2.3. Görsel ve işitsel ortamın genel kalitesi ve uygunluğu, 3.-4. soru

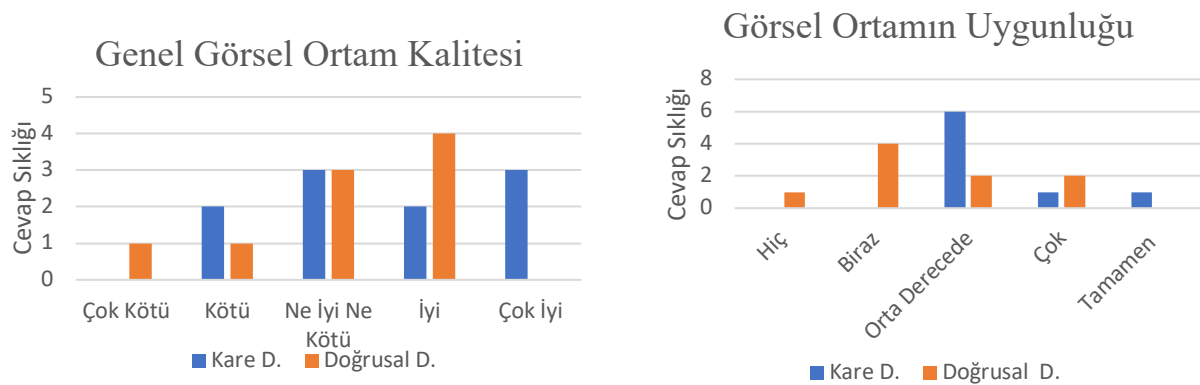
İşitsel ortam, ISO 12913-2'nin Yöntem A, Bölüm 3 ve 4'ünden uyarlanarak genel kalite algısı (OQ) ve genel uygunluk (OA) temelinde değerlendirilmiştir. İki bekleme alanı düzeninin sonuçları, ses ve görsel boyutlar açısından farklılıklar göstermektedir.



Şekil 6. Genel Ses Ortamı Değerlendirmesi ve uygunluğu grafikleri

Genel ses kalitesi açısından her iki düzen de çoğunlukla ortalama olarak değerlendirilmiştir; ancak, doğrusal düzen ($M=2.78$; $SD=0.97$), kare düzene ($M=2.80$; $SD=.91$) kıyasla daha fazla iyi değerlendirme almış (44,4 %) ve daha az kötü puan (11,1 %) almıştır. Kare düzende verilen yanıtlar daha dağınık olurken, doğrusal konfigürasyon daha kompakt bir dağılım göstermiştir.

Ses uygunluğu açısından, doğrusal düzen ($M=2.44$; $SD=.72$) çoğunlukla hafif (33,3 %) ile orta derecede uygun (55,6%) olarak değerlendirilirken, kare düzen ($M=3.20$; $SD=1.22$) daha güçlü olumlu yanıtlar almış ve katılımcıların çoğunluğu bunu çok uygun (60%) olarak nitelendirmiştir. Bu durum, her iki ortamda da insan kaynaklı etkinliklerin hâkim olmasına rağmen, kare düzenin ses ortamının doğrusal düzene kıyasla daha uygun bulunduğunu göstermektedir. Her iki düzen için de birkaç olumsuz değerlendirme (“hiç uygun değil”) kaydedilmiş olup, bu durum bireysel farklılıkları, örneğin önceki deneyim veya kullanıcı profili (personel vs. hasta) veya bağlamsal etmenler (ör. Yeşillik veya aydınlatma) (Resim 1) gibi etmenleri yansıtmaktadır.



Şekil 7. Genel Görsel ortam değerlendirilmesi ve uygunluğu grafikleri

Görsel uygunluk, genel olarak kare düzende daha yüksek bulunmuş olup, yanıtlar orta derecede uygun (60%) ile tamamen uygun (30%) arasında değişirken, doğrusal düzende ($M=2.59$; $SD=1.01$) hiç uygun değil (11,1 %) ile çok uygun (44,4 %) arasında değişmiştir. Bu durum, kare düzenin genel olarak daha uygun algılandığını göstermektedir ($M=3.50$; $SD=.70$). Genel görsel kalite dağılımı da benzer şekilde kare düzende daha yüksek puan eğilimini işaret etmektedir. Kare düzende ($M=3.60$; $SD=1.17$) yanıtlar kötü (11,1%) ile çok iyi arasında değişirken, doğrusal düzenin ($M=2.89$; $SD=1.05$) görsel kalitesi çok kötü ile iyi arasında değişmiştir. Yine de her iki düzen için veri dağılımı dağınık olarak kalmaktadır.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, ses ortamı düzenler arasında farklı algılanmıştır: Türk bağlamında kare düzen daha “*Hareketli*” ve “*Keyifli*” olarak deneyimlenirken, Arnavutluk bağlamında doğrusal düzen “*Coşkulu*” ve “*Rahatsız Edici*” olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak, hastane kullanıcıları kare düzeni daha uygun bulmuş, ancak değerlendirmeler daha dağınık olmuştur. Görsel uygunluk ve genel görsel kalite benzer bir eğilim göstermiş, kare düzen genellikle daha yüksek puan alırken, doğrusal düzen daha fazla değişkenlik sergilemiştir. Her iki düzen arasında genel ses kalitesinde de varyans gözlenmiştir (Şekil 6). Bu çalışmanın bulguları, kare düzenlerin uygunluğunu destekleyen önceki araştırmalarla uyumlu olup, bu eğilimlerin doğrulanması ve çevresel ile duygusal algılar üzerindeki bağlamsal etkilerin incelenmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Worldwide cancer data | World Cancer Research Fund n.d. <https://www.wcrf.org/preventing-cancer/cancer-statistics/worldwide-cancer-data/#> (accessed April 3, 2025).
- [2] Busch-Vishniac I, Ryherd E. Hospital Soundscapes 2023;277–311. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22779-0_10.
- [3] Bayraktar Sari AO, Jabi W. Architectural spatial layout design for hospitals: A review. *Journal of Building Engineering* 2024;97:110835. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.110835>.
- [4] Okcu S, Ryherd EE, Zimring C, Samuels O. Soundscape evaluations in two critical healthcare settings with different designs. *J Acoust Soc Am* 2011;130:1348–58. <https://doi.org/10.1121/1.3607418>.
- [5] Okcu S, Shpuza E, Ryherd E, Zimring C. Linking acoustics and floor-plate shape qualities of healthcare settings. *Archit Sci Rev* 2013;56:315–32. <https://doi.org/10.1080/00038628.2012.684034>.
- [6] Busch-Vishniac IJ, West JE, Barnhill C, Hunter T, Orellana D, Chivukula R. Noise levels in Johns Hopkins Hospital. *J Acoust Soc Am* 2005;118:3629–45. <https://doi.org/10.1121/1.2118327>.
- [7] NOISE FACTORS IN HEALTHCARE FACILITIES n.d. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2012.2.16>.
- [8] Cubukcuoglu C, Nourian P, Tasgetiren MF, Sariyildiz IS, Azadi S. Hospital layout design renovation as a Quadratic Assignment Problem with geodesic distances. *Journal of Building Engineering* 2021;44:102952. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102952>.
- [9] Alimadhi E, Yilmazer S. Evaluating audio-visual perception and psychological restoration based on biophilia hypothesis paradigm: A multi-domain assessment in oncology waiting areas. *Build Environ* 2025;271:112650. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2025.112650>.
- [10] Aletta F, Mitchell A, Oberman T, Kang J, Khelil S, Bouzir TAK, et al. Soundscape descriptors in eighteen languages: Translation and validation through listening experiments. *Applied Acoustics* 2024;224:110109. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2024.110109>.
- [11] Fasllija E, Shtrepi L, Alimadhi E. Development of the Albanian translation of the Perceived Affective Qualities in the ISO/TS 12913-2 soundscape standard. *Applied Acoustics* 2024;217:109835. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2023.109835>.
- [12] Nur Dökmeci Yörükoğlu P, Türker Bayrak Ö, Akbulut Çoban N, Beyza Erçakmak Osma U. Evaluation of the Turkish soundscape circumplex model, and the effects of sound source dominance, sequence, and gender on the perceived affective quality. *Applied Acoustics* 2024;223:110072.
- [13] Louwers G, Pont S, Gommers D, Van Der Heide E, Özcan E, Ozcan E€, et al. Sonic ambiances through fundamental needs: An approach on soundscape interventions for intensive care patients. *J Acoust Soc Am* 2024;156:2376–94. <https://doi.org/10.1121/10.0030470>.
- [14] Vreman J, Lemson J, Lanting C, Van Der Hoeven J, Van Den Boogaard M. The Effectiveness of the Interventions to Reduce Sound Levels in the ICU: A Systematic Review. *Crit Care Explor* 2023;5:e0885. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000885>.
- [15] Bora Özyurt Z, Eşmebaşı M, Gül ZS. City hospitals in Turkey: a review of acoustical criteria and design principles n.d.
- [16] Qeveria Shqiptare Keshilli i Ministrave n.d. <https://www.kryeministria.al/newsroom/vendime-te-miratuara-ne-mbledhjen-e-keshillit-te-ministrave-date-6-mars-2024/> (accessed April 7, 2025).
- [17] Lam B, Fan EMP, Ooi K, Ong ZT, Hong JY, Gan WS, et al. Assessing the perceived indoor acoustic environment quality across building occupants in a tertiary-care public hospital in Singapore. *Build Environ* 2022;222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109403>.
- [18] ISO/TS 12913-2:2018(en), Acoustics — Soundscape — Part 2: Data collection and reporting requirements n.d. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:12913:-2:ed-1:v1:en> (accessed January 28, 2023).

BAĞ TİPİ ODİTORYUMLARIN AKUSTİK PERFORMANSA DAYALI BİÇİMLENİŞ PARADİGMALARI

Efe Yıldırım¹, Aslı Özçevik Bilen ²

¹⁻²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
e-posta: efeyildirim@ogr.eskisehir.edu.tr, asliozecevik@hotmail.com

ÖZET

Oditoryumlar, toplumun sosyo-kültürel altyapısını yansıtan, kolektif bellekte yer edinmiş özel mimari organizasyonlardır. Zamanla fonksiyonel gereklilikler belirli tipolojilerin kalıplaşmasına neden olmuş, bu da özgünlük arayışını sınırlamıştır. Bu bağlamda bağ tipi oditoryumlar, mimari tasarımda esnekliğe olanak sağlayan yaklaşımları barındırması nedeniyle ön plana çıkmıştır. 20. yüzyılın sonlarından günümüze bağ tipi oditoryumların öncelikli tercih hâline geldiği, ancak tasarım ve inşasında disiplinler arası uzmanlık gerektiren zorlu süreçlerin yer aldığı vurgulanmaktadır. Akustik performansa dayalı tasarım konusunda literatür ve açık kaynakların sınırlılığı, bilgi birikimini kısıtlamaktadır. Bu bağlamda verilerine erişilebilen 22 çağdaş bağ tipi oditoryum incelenmiş; kavramsal gelişimleri, karşılaşılan mimari-akustik problemler ve çözümleri analiz edilmiştir. Elde edilen ‘yaklaşımlar ve teknikler bütünü’ ise ‘Bağ Tipi Oditoryumların Akustik Performansa Dayalı Biçimleniş Paradigmaları’ başlığı altında klasifiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağ tipi oditoryumlar, akustik performansa dayalı tasarım, mimari biçim, salon geometrisi.

ACOUSTIC PERFORMANCE-BASED DESIGN PARADIGMS FOR VINEYARD-STYLE AUDITORIUMS

ABSTRACT

Auditoriums are architectural spaces that reflect the socio-cultural structure of society and are embedded in collective memory. Over time, functional requirements have standardized certain typologies, limiting architectural originality. In this context, Vineyard-type auditoriums stand out for offering flexibility in design. From the late 20th century onward, they have become the preferred model, though their design and construction require interdisciplinary expertise. The scarcity of literature and open data on their acoustic performance-based design restricts knowledge in the field. Accordingly, 22 contemporary Vineyard-type auditoriums with accessible data were examined to analyze their conceptual development, architectural-acoustic challenges, and solutions. The resulting “set of approaches and techniques” was classified under the heading “Acoustic Performance-Based Design Paradigms for Vineyard-Style Auditoriums.”

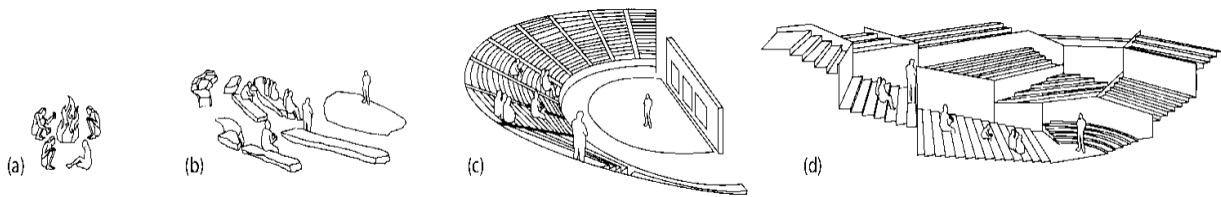
Keywords: Vineyard- type auditoriums, acoustic performance-based design, architectural form, hall geometry.

1. GİRİŞ

Oditoryumlar, toplumların sosyo-kültürel yapısının bir dışavurumu olarak kentlerin sembolü kabul edilen özel mimari organizasyonlardır. Tarihsel süreçte işlevsel gerekliliklere bağlı tipolojiler gelişmiş, bu durum ise mimaride özgünlük ve esnekliği sınırlamıştır. Bu bağlamda, bağ tipi plan şeması; özgün biçimlenişe olanak tanınması, kent kimliğine sembolik değer katması ve mekânsal adalet sağlaması nedeniyle öne çıkmıştır. İlk kez Hans Scharoun'un 1963'te Berlin Filarmoni için önerdiği bu yaklaşım, günümüzde yüksek hacimli oditoryumlarda yaygın biçimde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bağ tipi oditoryumların tasarımı, disiplinler arası uzmanlık gerektiren zorlu bir süreçtir. İşlevsel yapısı gereği oditoryumların akustik konfor gereksinimleri ön plana çıkmaktadır. Bağ tipi oditoryumlarda ise akustik performansa dayalı tasarımlar üzerine sınırlı kaynak bulunması, tasarımcıların bilgi birikimini kısıtlamaktadır. Bu araştırmada, literatür ve açık kaynaklardan derlenen 22 çağdaş bağ tipi oditoryum incelenmiş; mimari ve akustik süreçlerde karşılaşılan problemler ve çözümler analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, "Bağ Tipi Oditoryumların Akustik Performansa Dayalı Biçimleniş Paradigmaları" başlığı altında sınıflandırılarak, tasarımcı ve uzmanlara açık kaynak oluşturacak şekilde sistematik olarak sunulmuştur.

2. BAĞ TİPİ ODİTORYUM DİZAYNOGRAFİSİNE GENEL BİR BAKIŞ VE AKUSTİK KONFOR

İnsanoğlu ilk çağlardan itibaren konfor için görsel ve işitsel uyararı, içinde bulundukları alanın merkezine koyma eğilimindedir (**Şekil 1**). Bu eğilim, ses kaynağına yakın olmak amacıyla etrafını sararak kaynaktan maksimum yararlanma (minimum kaynak uzaklığında maksimum sayıda dinleyici yerleştirme) isteğinden kaynaklanmıştır [4]. Daha sonraki aşamalarda ise kapalı mekanlar üretildikçe bu istek, mekânda konfor adaleti ve eşkoşul sağlama çabasına evrilmiştir. 20. yüzyıla kadar yapım tekniklerinin izin verdiği kısıtlamalar kadarıyla ses mekanları üreten tasarımcılar, gelişen teknoloji, yapım teknikleri ve malzeme sayesinde daha estetik ve mekânsal kurguda daha yüksek adalet anlayışına sahip özgün form arayışına girmişlerdir [1].

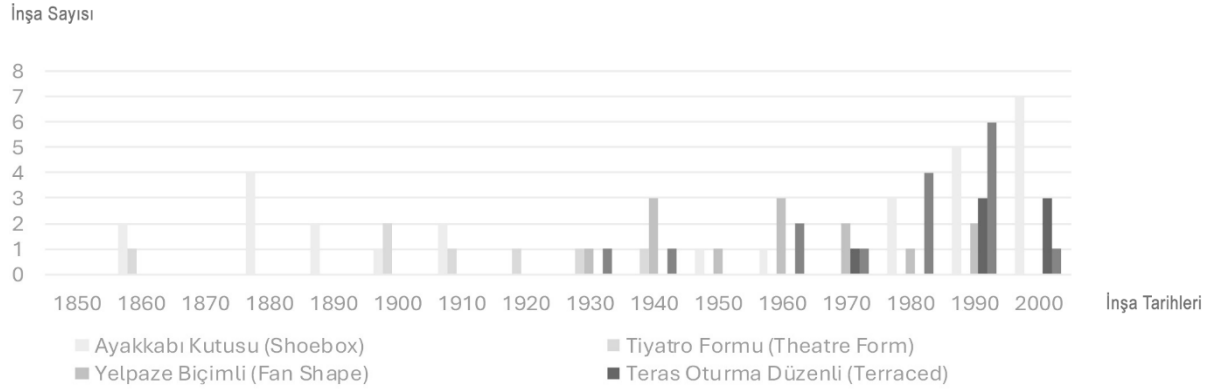


Şekil 1. Geçmişten günümüze insanoğlunun görsel ve işitsel kaynağı merkeze koyma eğilimi

(a) Ateş etrafında toplanan Neandertal'ler. (b) Antik çağlarda ilk oturma düzeni; Kaynak etrafına konulan kütükler (c) Mekânda dayanıklılık ve kalıcılığın ilk arayışları; Sahneyi çevreleyen amfiteyatroların inşası. (d) Günümüzde kaynağa yaklaşma ve çevreleme isteğinin çağdaş yorumu; Bağ tipi oditoryumlar. (Yazar tarafından çizilmiştir.)

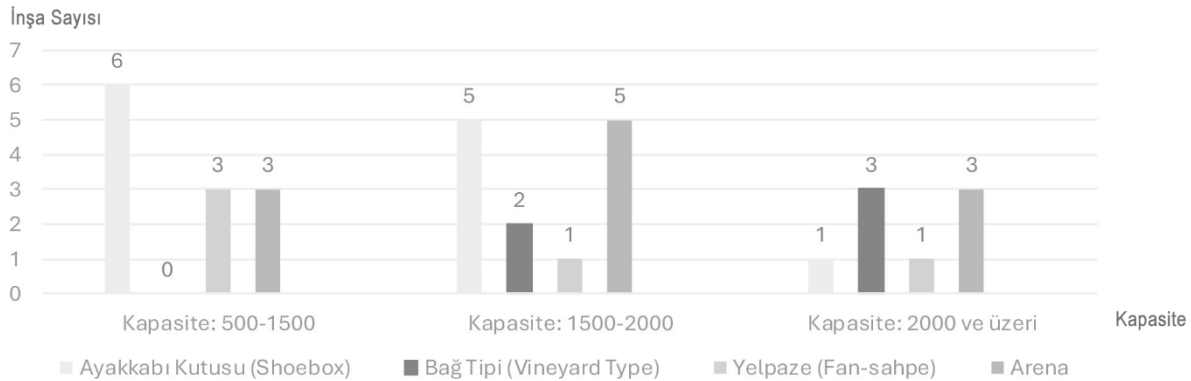
20. yüzyılda ortaya çıkan bağ tipi oditoryumlar, özgünlük ve esneklik vadeden tasarım anlayışıyla mimarlık camiasında geniş kabul görmüş ve dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Bağ tipi, sahneyi çevreleyen ve teraslanarak yükselen oturma düzeniyle üzüm bağına benzetilen müzik amaçlı bir organizasyondur. Ancak bu yaklaşım yalnızca bir plan şeması değil; görsel ve işitsel açıdan kaynak-alıcı ilişkisindeki temel prensiplere dayalı, farklı mimari arayüzlere uyarlanabilen esnek bir tasarım stratejisidir. Klasik bağ tipi oditoryumlarda teraslama, duvar

açılanmaları ve tavan biçimleri gibi değişkenlerin fazlalığı, özgünlük ve esnekliğe geniş olanak sağlar. Mike Barron (2006) ‘The Development of Concert Hall Design – A 111 Year Experience’ adlı çalışmasında, 1850–2000 yılları arasında farklı konser salonu formlarının dağılımını ortaya koymuş; modern hareketin etkisiyle 1910–1970 yılları arasında klasik “ayakkabı kutusu” tipolojisi kullanımının giderek azaldığını, eşzamanlı olarak 1930-2000 yılları arasında teras oturma düzenli – bağ tipi - deneysel girişimlerin yükselişe geçtiğini göstermiştir (**Şekil 2**).



Şekil 2. 1850-2000 yılları arasında inşa edilmiş yüksek kapasiteli – 1000 kişi ve üzeri - 69 farklı konser salonunun yıllara göre dağılımı [5].

Kahle Acoustic, 2009’da yayımlanan ‘Philharmonie de Paris - Acoustic Brief.’ adlı çalışmasında, 21. yüzyıla kadar inşa edilen konser salonlarını incelemiş ve salonların plan tipoloji dağılımlarını kişi sayılarına göre (500-1500 kişi, 1500-2000 kişi ve 2000 kişi üzeri olmak üzere) değerlendirmiştir (**Şekil 3**). İlgili çalışma incelendiğinde, 500-1500 kapasiteye sahip salonlarda en çok ‘Ayakkabı Kutusu’ formunun, 1500-2000 kapasiteye sahip olan salonlarda ‘Arena’ ve ‘Ayakkabı Kutusu’ formlarının, 2000 ve üzeri kapasitede ise ‘Bağ Tipi’ ve ‘Arena’ formlarının daha çok tercih edildiği anlaşılmaktadır.

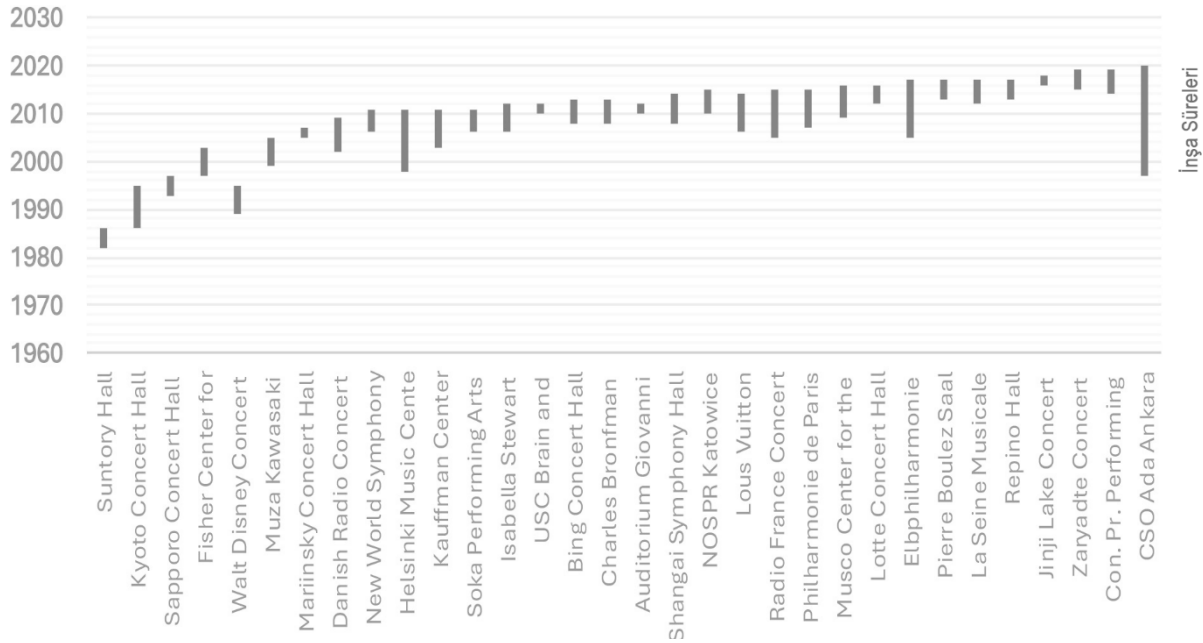


Şekil 3. Kişi sayısına göre salonların plan tipolojilerinin dağılımı [10].

19. yüzyıldan itibaren inşa edilen yüksek kapasiteli oditoryumlar üzerine yapılan araştırmalar, tasarımda özgünlük ve esneklik sağlamlarının yanı sıra, geniş dinleyici kitlelerinin mekân içi hareketlerinde sundukları sirkülasyon kolaylığı nedeniyle ‘bağ tipi’ yaklaşımların öncelikli tercih edildiğini ve günümüzde de bu tercihin devam ettiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca 1800 dinleyicinin üzerindeki çağdaş konser salonları arasında en uygun akustik koşulların bağ konfigürasyonuna sahip oditoryumlarda sağlanabildiği de bilinmektedir [3]. Daniel Backmann ve ekip arkadaşları (Marc Quiquerez, Erik Bergal , Yasuhisa Toyota ve Motoo

Komoda) 2020 yılında yayınlanan ‘Thirty Years of Acoustical Design for Music Venues and Vineyard-Style Auditoria’ adlı kitabında 1990-2020 yılları arasında inşa edilen ‘Bağ Tipi’ oditoryumların inşaat sürelerini incelemiş ve ilgili salonların yıllara göre dağılımının **Şekil 4**’teki gibi olduğunu ortaya koymuşlardır [6]. İlgili çalışma incelendiğinde, ‘Bağ Tipi’ konser salonları inşasının, gelişmekte olan toplumlarla benzer bir şekilde gelişmiş ülkelerde de beş yılı geçen uzun sürelerle ulaştığı görülmektedir.

İnşa Tarihleri



Şekil 4. 1990-2020 arasında inşa edilen ‘Bağ Tipi’ oditoryumların inşaat süreleri [6].

Bağ tipi konfigürasyonlu salonların, tasarımcı ve uzman açısından zorlayıcı birer tasarım ürünü olarak kabul edilmesinin yanı sıra uzun inşaat süresi ve buna bağlı olarak yüksek mali giderle birlikte zorlayıcı inşaat süreçlerine sahip oldukları da bilinmektedir [7]. Klasik dikdörtgen plan şemalı salonlar yerine dikdörtgen olmayan salonlar seçildiğinde (aynı yansıma süresini elde etmek için) %6 ila %10 daha fazla salon hacmine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da ‘Bağ Tipi’ salonlarının daha fazla inşaat maliyeti gerektirdiğini açıkça göstermektedir [8]. Bağ tipi oditoryumlarda akustik performans, tüm dinleyici noktalarında eş koşullarda sağlanacak hacim akustiği parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler temel fizik prensipleriyle ses hareketinin kontrol edilmesine dayanır ve tasarımın erken aşamalarında dikkate alınmalıdır [2,3]. Yüksek maliyet ve uzun inşaat süreleriyle öne çıkan bağ tipi oditoryumlarda, akustik performansın tasarımla birlikte değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Böylece inşaat sonrasındaki maliyetli düzeltmeler büyük ölçüde önlenir. Günümüzde akustik performans analizleri ve analiz araçları, tasarımı yönlendiren etkinlikte yaygın şekilde kullanılmaktadır [9]. Erken aşamada yapılan simülasyonlar sayesinde, mekânın geometri ve yüzey özellikleri en verimli biçimde belirlenir. Bu aşamadaki kararlar performansı doğrudan şekillendirirken, geç müdahaleler sınırlı etki yaratır. Dolayısıyla, bağ tipi oditoryumların karmaşık ve maliyetli süreçlerinde akustik odaklı kolektif tasarım yaklaşımı, kaliteyi artırmanın ve süreci hızlandırmanın en etkili yoludur.

3. BAĞ TİPİ ODİTORYUMLARIN AKUSTİK PERFORMANSA DAYALI BİÇİMLENİŞ PARADİGMALARI

Bu çalışma kapsamında, açık kaynaklar ve literatür üzerinden gerekli verilerine erişilebilen, 1980–2025 yılları arasında dünya genelinde inşa edilmiş 38 bağ tipi oditoryum incelenmiştir. Değerlendirme sürecinde, düşük kapasiteye sahip (400–1400 kişilik) salonlar ile mimari ve akustik açıdan kusurlar barındıran deneysel tasarımlar kapsam dışı bırakılmış; çalışma, yalnızca yüksek kapasiteli ve başarıları kanıtlanmış 22 oditoryumla sınırlandırılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde belirlenen 22 oditoryumun 1400–2400 kişi kapasiteli olduğu; kişi başına düşen hacimlerin 7,5–16,6 m³ arasında değiştiği ve yansıma sürelerinin 1,8–3,1 sn aralığında bulunduğu görülmektedir.

Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen 22 bağ tipi oditoryumun açılış tarihlerine göre sıralanmış genel bilgileri. (Yazar tarafından derlenmiştir.)

BAĞ TİPİ ODİTORYUMLAR	KONUM - AÇILIŞ TARİHİ	TASARIMCI	KAPASİTE	HACİM/KOLTUK	RT (500 Hz)
Berlin Filarmoni	Almanya, Berlin, 1963	Hans Scharoun	2.250	11.5m ³ /seat	RT boş 2.1 s RT dolu 1.9 s
Suntory Hall	Tokyo, Japan, 1986	Yasui Architects	2.006	10.05m ³ /seat	RT boş 2.6 s RT dolu 2.1 s
Kyoto Concert Hall	Kyoto, Japan, 1995	Arata Isozaki & Associates	1.833	10.9m ³ /seat	RT boş 2.2 s RT dolu 2.0 s
Sapporo Concert Hall “Kitara”	Sapporo, Japan, 1997	Hokkaido Engineering Consultant	2.008	14.3m ³ /seat	RT boş 2.2 s RT dolu 2.0 s
Walt Disney Concert Hall	Los Angeles, USA, 2003	Gehry Partners, LLP	2265	13.5m ³ /seat	RT boş 2.2 s RT dolu 2.0 s
Muza Kawasaki Symphony Hall	Kawasaki, Japan, 2004	MHS Planners, Architects and Engineers	1997	13.6m ³ /seat	RT boş 2.3 s RT dolu 2.0 s
Mariinsky Concert Hall	Saint Petersburg, Russia, 2006	Fabre/Speller Architectes Philippe Pumain Architecte	1,100	10.9 m ³ /seat	RT boş 2.2 s RT dolu 1.9 s
Danish Radio Concert House	Copenhagen, Denmark, 2009	Jean NOUVEL—Ateliers Jean Nouvel	1,800	15.6 m ³ /seat	RT boş 2.0 s RT dolu 1.8 s
Helsinki Music Center	Helsinki, Finland, 2011	Arkitekitoimisto Laiho-Pulkkinen-Raunio	1,704	14.1 m ³ /seat	RT boş 2.5 s RT dolu 2.0 s
Muriel Kauffman Theatre	Kansas City Missouri, USA, 2011	Architect: Safdie Architects Executive architect: BNIM	1,800	5.4 m ³ /seat	RT boş 1.5 s RT dolu 1.3 s
Kauffman Center, Helzberg Hall	Kansas City Missouri, USA, 2011	Architect: Safdie Architects Executive architect: BNIM	1,600	10.9 m ³ /seat	RT boş 2.3 s RT dolu 2.1 s
Soka Performing Arts Center	Aliso Viejo California, USA, 2011	Zimmer Gunsul Frasca Architects	1,032	12.9 m ³ /seat	RT boş 2.2 s RT dolu 2.0 s
Shangai Symphony Hall	Shanghai, China, 2014	ISOZAKI + HuQian Partners	1,123	16.6 m ³ /seat	RT boş 2.7 s RT dolu 2.3 s
NOSPR Katowice	Katowice, Poland, 2014	KONIOR STUDIO Tomasz Konior	1,800	12.2 m ³ /seat	RT boş 2.3 s RT dolu 1.1 s
Radio France Concert Hall	Paris, France, 2014	Henry Bernard (original, 1963)	1,461	9.9 m ³ /seat	RT boş 2.0 s RT dolu 1.8 s
Philharmonie de Paris	Paris, France, 2015	Jean NOUVEL—Ateliers Jean Nouvel	2,400	15.7 m ³ /seat	RT boş 3.1 s RT dolu 2.6 s
Musco Center for the Arts	California, USA, 2016	Pfeiffer Partners Architects	1,044	12.3 m ³ /seat	RT boş 2.5 s RT dolu 2.1 s
Lotte Concert Hall	Seoul, South Korea, 2016	Designcamp Moon Park	2,036	16.0 m ³ /seat	RT boş 2.9 s RT dolu 2.7 s
Elbphilharmonie Hamburg	Hamburg, Germany, 2017	Meuron Executive architect: Höhler+Partner	2,098	11.0 m ³ /seat	RT boş 2.5 s RT dolu 2.3 s
La Seine Musicale	Boulogne-Billancourt, France, 2017	Shigeru Ban Architects	1,152	12.0 m ³ /seat	RT boş 1.8 s RT dolu 1.7 s
Zaryadte Concert Hall	Moscow, Russia, 2018	TPO reserve	1,560	14.9 m ³ /seat	RT boş 2.9 s RT dolu 2.3 s
CSO Ada Ankara	Ankara, Türkiye, 2020	Semra Uygur & Özcan Uygur	2023	7,5 m ³ /seat	RT dolu 1,8 s

Çalışma kapsamında incelenen 22 oditoryumun mimari-akustik tasarım süreçleri ile mekânsal özellikleri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, ilgili salonların mimari tasarım girdileri, ana tasarım girdileri ve bunlara bağlı alt parametreler olarak belirlenmiş; akustik performansa dayalı tasarım odaklı ortak yaklaşım ve teknikler ortaya konulmuştur. İncelenen örneklerin büyük çoğunluğunda, akustik kaliteye ulaşmak ve optimum hacim akustığı parametrelerini sağlamak amacıyla salonun fiziksel boyutları ve plan şeması, dinleyici-sahne ilişkileri, kullanılan malzeme ve yüzey açıları gibi çeşitli alt parametreler üzerinden benzer yöntemlerin uygulandığı görülmüştür. Bununla birlikte söz konusu mimari ara elemanların, aynı hedeflere hizmet etmekle birlikte farklı ve özgün biçimlerde ele alındığı tespit edilmiştir.

Tasarım süreçleri ve mekânsal özelliklerin değerlendirilmesi sonucunda, bağ tipi oditoryumların ortak yaklaşımlarının; plan şemasına bağlı ana hacim biçimlenişinde esneklik, sahnenin merkezileştirilmesi, mekânsal adalet ilkesi doğrultusunda sahnenin dinleyici alanlarıyla çevrelenmesi, sirkülasyon ve görüş çizgilerinin teraslama aracılığıyla düzenlenmesi ve yüzey yansıtıcılıklarının etkin kullanımıyla akustik eş koşulların gözetilmesi olduğu anlaşılmıştır.

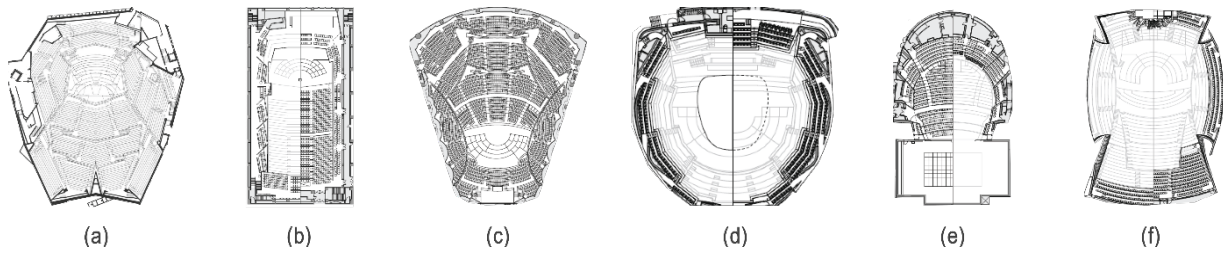
Bu doğrultuda yapılan incelemede elde edilen tüm bulgular, bu çalışma kapsamında akustik performansa dayalı biçimleniş paradigmaları adı altında yapılan sınıflama üzerinden mimari tasarım girdileri olarak Tablo 2’te sunulmuştur.

Tablo 2. Bağ tipi konser salonlarının biçimlenişine etki eden paradigmalar ve ilişkili oldukları mimari tasarım girdileri. (Yazar tarafından hazırlanmıştır.)

BİÇİMLENİŞ PARADİGMALARI	MİMARİ TASARIM GİRDİLERİ	
	ANA TASARIM GİRDİLERİ	ALT PARAMETRELER
Şekil Değiştirebilirlik Paradigması	Plan Şemasına Bağlı Ana Hacim Geometrisi	Ayakkabı Kutusu (Dikdörtgen)
		Yelpaze At Nalı Arena (Amfityatro) Bağ Tipi (Gelişigüzel, Elmas) Diğerleri (Deneyisel Tasarımlar)
Merkezi Sahneleştirme Paradigması	Salonun Mekânsal Büyüklükleri	Salon Genişliği ve Uzunluğu Salon Yüksekliği ve Hacmi
	Sahne Tasarımı ve Oturma Düzeni	Sahne Konumu (Sahne Merkeziet Oranı) Sahne Biçimlenişi ve Oturma Düzeni
Çevresel Oturma Paradigması	Parter ve Diğer Dinleyici Alanlarının Yönelimi	Oturma Alanı Düzeni ve Yönelimi
Teraslama Paradigması	Zemin Eğimi ve Görüş Çizgileri	Zemin Eğimi
		Yatay ve Düşey Görüş Çizgileri
Yansıtıcılardan Mak. Fay. Paradigması	İç Yüzeylerin Biçimlenişleri ve Gereç Özellikleri	Tavan Yansıtıcılarının Şekli ve Konumu
		Yanal Duvarların Açısı
		Alınlıklar ve Parapetlerin Biçimlenişi
		Yutucu ve Dağıtıcılar

3.1. Şekil değiştirebilirlik paradigması

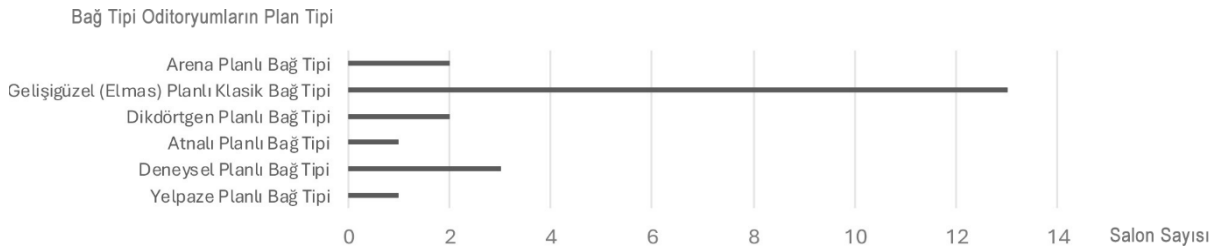
Araştırmadaki 22 farklı çağdaş bağ tipi salonun erken tasarım aşamaları incelendiğinde; Tasarımcı tarafından plan şemasına bağlı ana hacmin biçimleniş kararı verilirken diğer formlara göre daha özgür oldukları görülmüştür [6]. Çünkü bağ tipi biçimleniş stratejileri sadece bir plan şemasından ibaret değildir. Bağ tipi yaklaşımları diğer tüm oditoryum plan şemalarında ele alınabilir ve temel prensipleri ilgili mekânı oluşturan tüm mimari arayüzlere uyarlanabilir (**Şekil 5**). Tasarımcılar, bağ tipi yaklaşımlarla şekillendirdikleri ana formu, ilgili akustik uzmanının yönlendirmesi ve yerel yönetimlerce belirlenen bazı kurallar çerçevesinde, ilgili organizasyona en uygun olacak şemaya özgürce karar verebilme avantajına sahiptir [10]. Bağ tipi yaklaşımların, tasarımın erken aşamasında tasarımcı tarafından uygun görülen her türlü formla uyarlanabilirliği; bu çalışma kapsamında, ‘Şekil Değiştirebilirlik Paradigması’ olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5. Şekil Değiştirebilirlik paradigmasına göre farklı plan şemalarında biçimlenmiş bağ tipi oditoryumlar.

(a) ‘Berlin Filarmoni’ gelişigüzel (elmas) planlı klasik bağ tipi, (b) ‘Kyoto Concert Hall’ dikdörtgen planlı bağ tipi, (c) ‘Sapporo Concert Hall’ yelpaze planlı bağ tipi, (d) ‘Radio France Concert Hall’ arena planlı bağ tipi, (e) ‘Muriel Kauffman Center’ ise at nalı planlı bağ tipi, (f) ‘Walt Disney Concert Hall’ ise deneysel planlı bağ tipi olarak tasarlanmışlardır. (Yazar tarafından derlenmiştir.)

Çalışma kapsamında incelenen 22 oditoryumun; 13 tanesinin Gelişigüzel (Elmas) Planlı Klasik Bağ Tipi, 3 tanesinin Deneysel Planlı Bağ Tipi, 2 tanesinin Dikdörtgen Planlı Bağ Tipi, 2 tanesinin Arena Planlı Bağ Tipi, 1 tanesinin Yelpaze Planlı Bağ Tipi, 1 tanesinin Atnalı Planlı Bağ Tipi olduğu gözlemlenmiştir (**Şekil 6**). Farklı plan şemalarının birbirleri üzerinde herhangi bir mimari üstünlüğü yoktur. Ancak bilinmelidir ki, her plan şemasının kendine ait avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 6. Çalışma kapsamında incelenen salonların plan şemasına göre dağılımları. (Yazar tarafından hazırlanmıştır.)

3.2. Merkezi sahneleştirme paradigması

İncelenen oditoryumlar arasında ‘Muriel Kauffman Center’ ve ‘Musco Center for the Arts’ dışındaki diğer 20 oditoryumda, merkezi sahne etrafında dinleyici alanlarının konumlandırıldığı görülmektedir. ‘Muriel Kauffman Center’ ve ‘Musco Center for the Arts’ da ise parter ve diğer dinleyici alanları, sofitalı dikdörtgen sahnenin önüne konumlandırılmıştır.

Bu salonlarda sahne-dinleyici mesafesini azaltmak için sofitalı sahne merkeze çekilemese de yüksek sayıda balkonlaşma ve ana parterde teraslanma gibi bir takım mimari kararlarla, oturma alanları sahneye yaklaştırılmaya çalışılmıştır.

Bağ tipi yaklaşımların tümünde gözlemlenen, sahneyi mekânın ana odağı haline getirmek üzere merkeze çekme çabası, bu çalışma kapsamında; ‘Merkezi Sahneleştirme Paradigması’ olarak ifade edilmiştir.

3.3. Çevresel oturma paradigması

İncelenen 22 bağ tipi oditoryumdan 20’sinde sahne, dinleyici alanlarıyla çevrelenmiştir. Bu düzen, mekânsal adaleti artırmak ve mümkün olduğunca fazla dinleyiciyi sahneye eş mesafede konumlandırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kauffman ve Musco merkezlerinde ise balkon ve arka teras sınırlılığı nedeniyle özel çözümler uygulanmıştır.

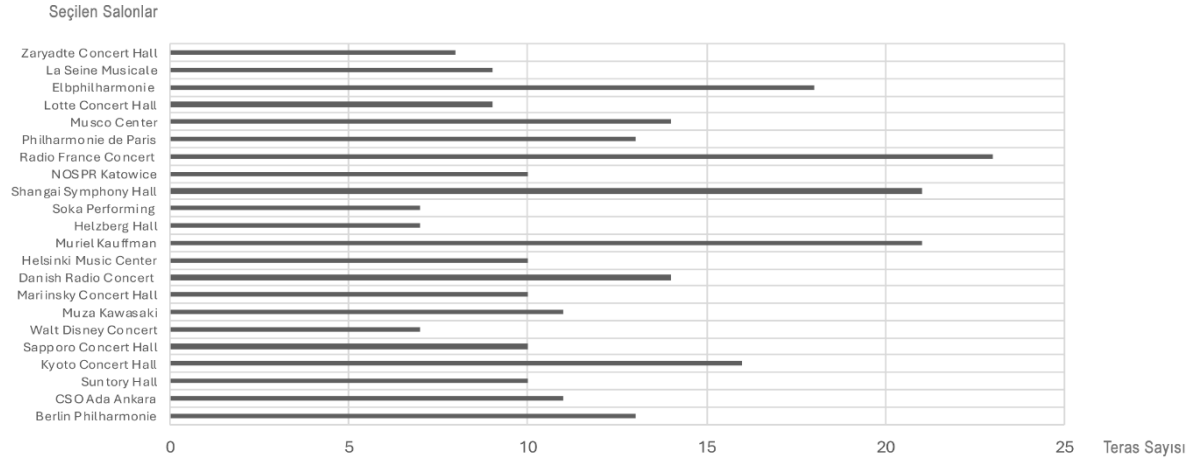
Daniel Backmann’ın ‘Thirty Years of Acoustical Design for Music Venues and Vineyard-Style Auditoria’ (2020) çalışmasında “Surround Seating Paradigm” olarak tanımlanan bu yaklaşımda, orkestradaki her enstrüman ve vokal hem görsel hem işitsel yönlülüğe sahiptir.

Ses, sahnede birleşerek öncelikle yukarıya yayılır ve tavan yansıtıcılarından homojen biçimde dinleyici alanlarına dağıtılır. Böylece sahne merkezinden eşit uzaklıktaki tüm dinleyiciler benzer akustik koşullardan yararlanır. Genel kanının aksine, bağ tipi oditoryumlarda sahnenin arkasında oturmak ile ön parterde eş uzaklıkta oturmak arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Ancak solo vokaller veya kapaklı piyanolar gibi tam yönlülüğe sahip olmayan kaynaklarda, piyano kapağının kaldırılması ya da solistin sahne hareketliliğiyle yönlülüğünü değiştirmesi gerekebilir.

3.4. Teraslama paradigması

İncelenen oditoryumların tümünde, ana parter başta olmak üzere tüm dinleyici alanlarında teraslama yapıldığı gözlemlenmiştir. Merkezi sahnesi olmayan ‘Muriel Kauffman Center’ ve ‘Musco Center for the Arts’ da sahne-son dinleyici mesafesinin kısaltılması adına ciddi oranda teraslamalara başvurulduğu anlaşılmaktadır. ‘Muriel Kauffman Center’ da 21 teras, ‘Musco Center for the Arts’ da ise 14 Teras bulunmaktadır.

Bağ tipi yaklaşımların tümünde gözlemlenen, sahneyi çevreleyen dinleyici alanlarındaki sirkülasyonu yönetebilmek ve görüş çizgilerini işlevsel tutmak amacıyla farklı teraslamalara başvurma durumu bu çalışma kapsamında; ‘Teraslama Paradigması’ olarak ifade edilmiştir.



Şekil 7. Çalışma kapsamında incelenen 22 oditoryumun teras sayıları. (Yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Çalışma kapsamında incelenen teras sayılarının plan şemasına bağlı dağılımları incelendiğinde (Şekil 8) sahnenin çevrelenme oranı görece düşük olan at nalı ve dikdörtgen planlı bağ tiplerinin ciddi oranda teraslamalara başvurarak sahne-son dinleyici mesafesini kısaltma eğiliminde olduğu görülmektedir.



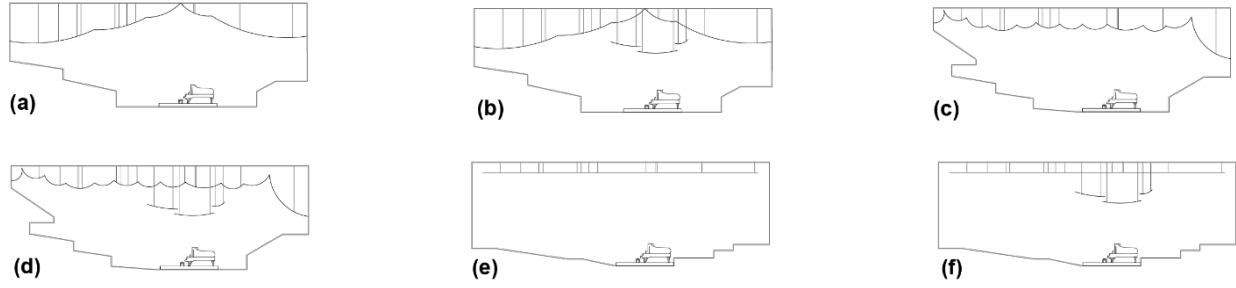
Şekil 8. Çalışma kapsamında incelenen teras sayılarının plan şemasına bağlı dağılımları. (Yazar tarafından hazırlanmıştır.)

3.5. Yansıtıcılardan maksimum faydalanma paradigması

İncelenen 22 bağ tipi oditoryumda, özellikle tavan ve yanıl yüzeylerin biçimlendirilmesi akustik performans açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu salonların her biri, sesin ideal şekilde yönlendirilmesi ve dağıtılması için özel geometrilerle tasarlanmıştır. Özellikle dışbükey tavan yüzeyleri, sesin partere verimli ulaşmasını ve dinleyiciler arasında homojen bir dağılım yaratılmasını sağlamaktadır.

Bu doğrultuda, analiz edilen oditoryumlarda gözlenen bu temel yaklaşım “Yansıtıcılardan Maksimum Faydalanma Paradigması” olarak tanımlanmıştır. İncelenen oditoryumlarda, temel altı farklı tavan yansıtıcı kurgusunun çeşitli biçimlerde ve farklı yapı elemanları aracılığıyla uygulandığı tespit edilmiştir.

Gözlemlenen temel tavan biçimlenişleri Şekil 9’da bu biçimlenişlerin oditoryumlar arasındaki kullanım sıklıkları ise Şekil 10’da sunulmuştur.



Şekil 9. Çalışma kapsamında analiz edilen 22 bağ tipi oditoryumun tasarımlarında kullanılan tavan biçimlenişleri.

(a) İki ana dışbükey tavan biçimlenişi, (b) İki ana dışbükey tavan biçimlenişi ve sahne üstü akustik bulut, (c) Çoklu dışbükey tavan biçimlenişi, (d) Çoklu dışbükey tavan biçimlenişi ve sahne üstü akustik bulut, (e) Düz tavan biçimlenişi, (f) Düz tavan biçimlenişi ve sahne üstü akustik bulut. (Yazar tarafından çizilmiştir.)

İlgili Tavan Biçimlenişinin Kullanım Sayısı



Şekil 10. Çalışma kapsamında belirlenen tavan biçimlenişlerinin dağılımı. (Yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Şekil 10'da ortaya konan veriler doğrultusunda, çalışma kapsamında belirlenen tavan biçimlenişlerinin dağılımı incelendiğinde; özellikle merkezi sahne etrafında teraslanma eğilimi gösteren bağ tipi oditoryumlarda, farklı açı ve kotlarda eş koşul sağlama amacıyla yayıncı ses ortamı oluşturma potansiyelinin en yüksek olduğu çok yönlü ve farklı açılardan oluşan tavan biçimlenişlerinin (a ve c tipleri) tercih edildiği görülmektedir.

Buna ek olarak, sahne üstünde akustik bulut (cloud) kullanımına dayalı tavan biçimlenişlerinin (b ve d tipleri) de yoğun biçimde uygulandığı anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında sunulan ve bağ tipi oditoryumlar özelinde ele alınan akustik performansa dayalı biçimleniş paradigmaları, tasarımın farklı aşamalarına yön veren ve çeşitli yaklaşımlar ile teknikler aracılığıyla optimum akustik koşullara ulaşmayı sağlayan yöntemler bütünü ifade etmektedir. Sürecin etkinliği, mimar ile akustik uzmanlarının koordineli çalışmasına, ortaya çıkan olasılıkların birlikte değerlendirilmesine ve gerekli müdahalelerin zamanında uygulanmasına bağlıdır. Zorlu inşa süreçleri, ileri düzey akustik uzmanlığı gerektirmesi, her detayın farklı olasılıklarla etüt edilmesi ve disiplinler arası kolektif çalışmayı zorunlu kılması nedeniyle bağ tipi oditoryum tasarımı, mimarlık pratiğinin en karmaşık ve özel alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Literatürde sınırlı kaynak bulunmasına karşın mevcut çalışmalar, yüksek kapasiteli bağ tipi salonların en uygun akustik ve mimari çözümleri sağladığını göstermektedir; bu nedenle akustik performansa dayalı tasarım vazgeçilmez bir gerekliliktir.

Çalışmada 22 adet bağ tipi oditoryum incelenmiş ve beş farklı akustik performansa dayalı biçimleniş paradigması sistematik olarak ortaya konmuştur. Ortak yaklaşımlar arasında plan şemasında özgürlük, sahnenin merkezileştirilmesi, mekânsal adalet amacıyla sahnenin dinleyiciyle çevrelenmesi, sirkülasyonun teraslamalarla düzenlenmesi ve yüzey yansıtıcılıklarından maksimum fayda sağlanarak akustik eş koşulların gözetilmesi yer almaktadır.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, ortaya konan akustik performansa dayalı paradigmaların, mimari biçimleniş ve akustik konfor üzerindeki etkilerinin simülasyonlar aracılığıyla uygun yazılımlar kullanılarak incelenmesi ve sistematik biçimde sunulması hedeflenmektedir. Bu sayede bağ tipi oditoryum üzerine çalışan tasarımcı, uzman ve araştırmacılar için temel bir referans ve açık kaynak ortaya konulması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Patel, R., Architectural Acoustics - A Guide to Integrated Thinking, RIBA Publishing, 2020.
- [2] Patynen, J. and Lokki, T., The Acoustics of Vineyard Halls: Is it so Great After All, Australian Acoustical Society, 2015.
- [3] Jablonska, J., Architectural Acoustics in Vineyard Configuration Concert Hall, Journal of Architectural Engineering Technology, pp. 1-12, 2018.
- [4] Long, M., Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, 2006.
- [5] Barron, M., The Development of Concert Hall Design- A 111 Year Experience, ResearchGate, 2006.
- [6] Backmann, D. vd., Concert Halls by Nagata Acoustics - Thirty Years of Acoustical Design for Music Venues and Vineyard-Style Auditoria, The ASA Press, 2020.
- [7] Beranek, L. L., Analysis of Sabine and Eyring Equations and Their Application to Concert Hall Audience and Chair Absorption, The Journal, pp. 45-60, 2006.
- [8] Hidaka, T. and Nishihara, N., Acoustical Quality in Concert Halls as Related to Hall Shape: Shoebox, Surround, and Other, American Psychological Association, 2015.
- [9] Badino, E. vd., Acoustic Performance-Based Design: A Brief Overview of the Opportunities and Limits in Current Practice, Acoustics, pp. 101-115, 2020.
- [10] Kahle Acoustics, Philharmonie de Paris - Acoustic Brief, Acoustique Audio-Visuel, 2006.

RESTORANLARDA ARKA PLAN MÜZİĞİ: KONUŞMANIN ANLAŞILABİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER

İ. Emrehan Çakmakçı¹, Suat Vergili², Feridun Öziş³, Konca Şaher⁴

¹⁻²⁻³Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir, Türkiye

e-posta: ibrahimemrecançakmakci@gmail.com,
suat.vergili@deu.edu.tr, feridun.ozis@deu.edu.tr

⁴Kadir Has Üniversitesi, Cibali, İstanbul, Türkiye

e-posta: konca.saher@khas.edu.tr

ÖZET

Restoran, kafe gibi halka açık yeme-içme mekânlarında, sabit elektroakustik sistemler aracılığıyla arka plan müziği yayını yapılması, yaygın bir uygulamadır. Bu müziğin düzeyinin ve niteliklerinin, mekânı kullanan bireylerin algısal becerileri üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar akustik bilimi literatüründe kapsamlı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu bildiride, arka plan müziğinin farklı ses basınç düzeylerinde konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri, alan ölçümleri, akustik simülasyonlar ve algısal dinleme testleri aracılığıyla sistematik olarak incelenmiştir. Alan ölçümleri ve simülasyon çalışmaları sonrasında, biri yerli biri yabancı olmak üzere vokalli ve enstrümantal formatta dört farklı müzik örneği seçilerek bir işitsel modelleme oluşturulmuş ve bu örnekler katılımcılara dinletilmiştir. Elde edilen dinleme testi verileri müzik düzeyinin somut etkisinin yanında, müziğin vokal içerikli olup olmamasının, vokalin katılımcının ana dilinde olup olmamasının ve hoparlörlerin frekans tepkisi ve fiziksel yerleşim konumlarının da konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Restoranlarda konuşmanın anlaşılabilirliği, arka plan müzik düzeyi.

BACKGROUND MUSIC IN RESTAURANTS: EFFECTS ON SPEECH INTELLIGIBILITY

ABSTRACT

The broadcasting of background music in public dining environments such as restaurants and cafés is a widespread practice. However, the effects of the level and characteristics of such music on the perceptual abilities of individuals using these spaces have not been thoroughly addressed in the acoustics literature. In this study, the effects of background music at varying sound levels on speech intelligibility were systematically investigated through field measurements, acoustic simulations, and perceptual listening tests. Following environmental measurements and simulation studies, four different music samples—vocal and instrumental versions of both a local and a foreign song—were selected to create auralization scenarios, which were then presented to participants. The results of the listening tests indicate that, in addition to the direct impact of music level, factors such as the presence of vocals in the music, whether the vocal is in the listener's native language, and the frequency response and physical placement of loudspeakers also significantly affect speech intelligibility.

Keywords: Speech intelligibility in restaurants, background music level.

1. GİRİŞ

Restoranlarda arka plan müziği, müşteri deneyimini şekillendiren kritik bir unsur olmasına rağmen, konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri literatürde sınırlı ölçüde araştırılmıştır. Bu çalışma, restoran ortamlarında tavan ve duvar hoparlör yerleşimleri ile farklı müzik ses basınç düzeylerinin konuşmanın anlaşılabilirliğine etkilerini; yerinde gerçek ölçümler, akustik simülasyon ve dinleme testi aracılığıyla inceleyerek akustik literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Restoranlar, kafeler ve benzeri yeme-içme amaçlı sosyal alanların akustik özelliklerine dair çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. 2000'lerin başından itibaren daha çok da son on yılda bu mekanların akustiği, gürültü düzeyleri, konuşmanın anlaşılabilirliği ve işitsel peyzajları (soundscape) konularında artan sayıda ampirik çalışma ve vaka incelemesi türünde bazı çalışmalar karşımıza çıkmaktadır. Bunların yanında bu mekanlardaki arka plan müzik ses basınç düzeylerinin özel olarak ele alındığı çalışma sayısı oldukça azdır. Bu bölümde literatürde arka plan müzik ses basınç düzeyleri ve arka plan müziğinin restorandaki müşterilerin davranışları üzerindeki etkileri ile ilişkili çalışmalardan bazıları aktarılacaktır.

Maruyama vd.'nin çalışmasında [1], Japonya'da bir kafede 63,8 dBA arka plan müzik düzeyinin rahat hissettirdiği, yüksek müzik düzeyinin iletişimde zorluk yarattığı gözlemlenmiş, yüksek müzik düzeyi ve masa doluluk oranları arttıkça masaların birbirinden uzaklaştırılması önerilmiştir. Bir diğer çalışmada ise restoran ortamında müzik düzeyi ile gürültüye duyarlılığın ruh hali ve davranış üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Müziğin 62-67 dBA düzeyinde olması restoran deneyimini olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Müzik düzeyinin hiç olmaması veya çok yüksek bir düzeyde (70,2 dBA) bulunması durumlarında müşteri memnuniyetinde azalma gözlemlenmiştir [2]. Tarlao vd.'nin çalışmasında ise [3], dört farklı haftada farklı ses basınç düzeyleriyle (70,93- 76,07 dBA) müşteri algı ve davranışları incelenmiştir. Öğle vakti ses basınç düzeyinin (71,25 dBA), akşam vakti ses basınç düzeyinden (74,85 dBA) daha düşük olduğu ve bu durumun müşteri sayısı ile pozitif ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer çalışmada, düşük (55-65 dB) ve yüksek (70-80 dB) ses basınç düzeylerinde hızlı ve yavaş tempolu müzikler kullanılarak müşterilerin yemek deneyimleri araştırılmıştır. Arka planda çalınan düşük ses basınç düzeyli ve yavaş tempolu müziğin restoran atmosfer algısını pozitif etkilediği, hızlı tempolu müziğin toplam harcamayı arttırdığı gözlemlenmiştir [4]. Bir başka makalede düşük ses basınç düzeyinde müziğin (55 dB) sağlıklı gıda satışını artırdığı ve müşterilerde rahatlama sağladığı, yüksek ses basınç düzeyinde (70 dB) ise sağlıksız yiyeceklerin tercih edildiği ve kalp atış hızı ile heyecanın arttığı bulunmuştur [5]. İki farklı bar ortamında yapılan bir araştırmada [6], (kırsal ve kentsel) arka plan müzik düzeyinin (72-88 dB, 75-91 dB) alkol tüketimine etkisi incelenmiş; yüksek ses basınç düzeylerinde alkol tüketiminin arttığı, özellikle erkekler ve kırsal alandaki bireylerde daha fazla içki tüketildiği saptanmıştır. Astolfi ve Filippi'nin bildirisinde [7], restoranlardaki konuşma iletişimini araştırmak için dört farklı restoranda, akustik emilim, oturma yoğunluğu, lombard etkisi ile farklı müşteri tiplerine bakmışlar. Konuşmanın anlaşılabilirliği ve gizliliği, yalnızca 0,2 kişi/m² oturma yoğunluğu ile sağlandığı ortaya çıkmıştır. İki değer aynı anda iyi derecelerde sağlanmasının zor olduğu kanısına varılmıştır. deReuiter vd. [8], restorandaki kişi sayısı, oturma kapasitesi ve metrekaşe başına emicilik değerleri değiştirilerek konuşmanın anlaşılabilirliğini araştırmak için üç senaryo tasarlamışlardır. Çoğu durumda yüksek emici tavanın asgari bir gereklilik olduğu, kişi başına 3,5 m² emicilik değerinin gerçekçi bir değer olacağı belirtilmiştir. Bir başka çalışma,

yemekhanelerde sözlü-iletişim kalitesini mekânın emicilik değerini değiştirerek ve masalar arası bariyerler yerleştirilerek geliştirmeyi amaçlamıştır. Masalar arası uzun ve emici yapıda bariyerler konuşmanın anlaşılabilirliği ve gizliliği açısından fayda sağlarken, bariyer eklemekten sadece mekânın emiciliği arttırıldığında reverberasyon süresinin azalmasıyla beraber konuşma-gürültü düzeyi farkı düştüğünden konuşma sinyalinin azaldığı gözlemlenmiştir [9]. Nielsen vd. [10], beş restoranda objektif akustik parametreler ile akustik konforun öznel değerlendirilmesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Gürültü rahatsızlığının restoran sakinlerinin birbirleriyle çok yakın oturmasıyla ilişkili olduğu, 76,7 dBA gürültü düzeyinin hafif/orta düzeyde rahatsız edici olduğu ortaya çıkmıştır. Restoranlardaki gürültü toleransının nispeten yüksek olduğu belirtilmiştir. Biri 2330 m² üç katlı, diğeri ise 5000 m² tek katlı olan iki yemekhanede yapılan araştırmada [11], ses basınç düzeyleri ve çeşitli ses kaynaklarının akustik konfor üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, arka plan gürültü düzeyleri (70-75 dBA) yemekhanelerdeki akustik konforu önemli ölçüde etkilemiş ve sık sık dışarıda yemek yiyen katılımcılar yemek alanlarındaki ses ortamı konforunu, nadiren dışarıda yemek yiyenlere göre daha olumlu değerlendirmiştir. Subjektif geri bildirim dayanan Café and Restaurant Acoustical Index (CRAI) ve objektif akustik parametrelerin bir arada kullanımıyla, yeme içme mekânlarında akustik konforun sınıflandırılması için kavramsal bir çerçeve geliştirmeyi amaçlayan bu çalışmada [12]. Akustik konforu etkileyen altı belirleyici faktör tanımlanmıştır. Bunlar: yemek yerlerinin türü, fiziksel ortam, ses kaynakları, düzen ve yerleşimi, yoğunluk ve demografik özelliklerdir. Bir diğer çalışmada, yirmi kahve dükkanında klasik, caz, pop, rock vd. türlerden 76 müzik parçası incelenmiştir. Analizler sonucunda net melodilere ve daha yavaş tempoya sahip müzikler, müşterilerde daha fazla bağlılık hissi yaratmakta ve bu da müşteri memnuniyetini arttırmaktadır [13].

Tablo 1- Literatür taramasında geçen kaynaklardaki müzik ve arka plan gürültü düzeyleri

Kaynak	Müzik Ses Düzeyleri			Arka Plan Gürültü Düzeyleri
	Düşük	Orta	Yüksek	
Maruyama vd. (2020) [1]	59 dBA	63,8 dBA	68,6 dBA	50 dBA
Tarlao vd. (2020) [3]	70.93 dBA	73.39 dBA 73.76 dBA	76.07 dBA	
Novak, La Lopa ve Novak (2010) [2]	59,6 dBA (soft)	64,4 dBA (comfortable)	70,2 dBA (slightly loud)	58,6 dBA
Harrington, Ottenbacher ve Treuter (2015) [4]	55-65 dB (background)		70-80 dB (foreground)	
Guéguen, Hélène ve Jacob (2004) [6]	72 dB (kırsal) 75 dB (kentsel)		88 dB (kırsal) 91 dB (kentsel)	
Biswas, Lund ve Szocs (2018) [5]	55 dB		70 dB	

3. METODOLOJİ

Bu araştırmanın deney aşamasında izlenen metodoloji üç ana adımdan oluşmaktadır. Birinci aşama yerinde ölçümler, ikinci aşama akustik simülasyon son aşama ise dinleme testidir.

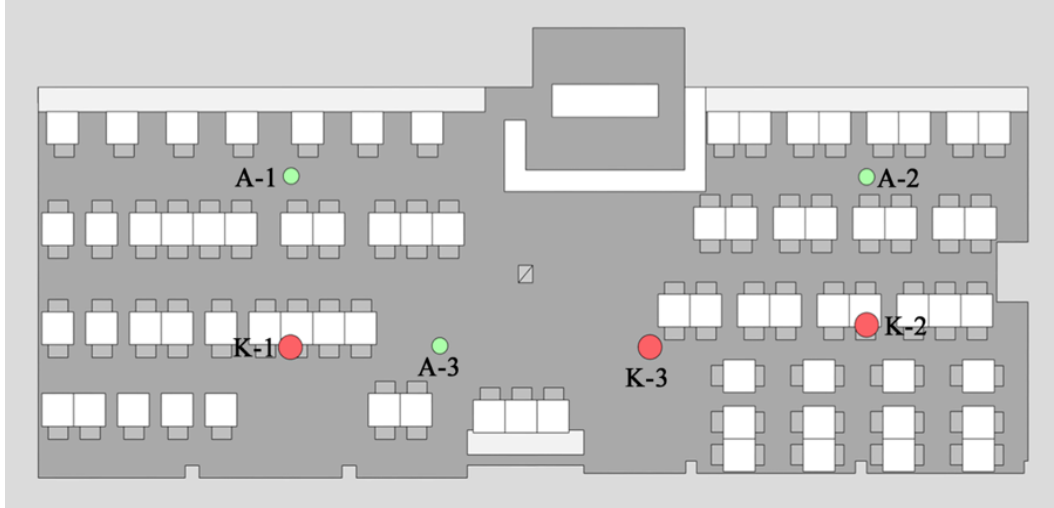
3.1. Ölçümler

Bu çalışma kapsamında, İzmir’de yüksek ses basınç düzeyinde çalınan arka plan müziği eşliğinde, alkollü yemek hizmeti sunan bir restoranda mekân boşken reverberasyon süresi ve

arka plan gürültü düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra mekân %50 doluluk oranındayken arka plan müziğiyle beraber gürültü düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Reverberasyon süresi ölçümleri

Birinci ölçüm olan reverberasyon süresi ölçümlerinde B&K Type 4292-L dodekahedron hoparlör, ANSI Class 1 standardını karşılayan Earthworks Audio M23 ölçüm mikrofonu ve Audient ID44 ses kartı kullanılmıştır. Elde edilen kayıtlar DIRAC yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Aşağıda ölçüm kaynak ve alıcı noktaları Şekil 1’de, reverberasyon süresi ölçümü sonuçları ise Tablo 2’de yer almaktadır.



Şekil 1. Reverberasyon süresi ölçüm noktaları, A 1-3 Alıcı, K 1-3 Kaynak

Tablo 2. Reverberasyon süresi ölçüm sonuçları

	Alıcı 1								Alıcı 2								Alıcı 3							
Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	0,46	0,33	0,66	0,58	0,61	0,75	0,60	0,57	0,23	0,46	0,55	0,57	0,61	0,73	0,58	0,56	0,43	0,64	0,42	0,56	0,67	0,72	0,72	0,68
T(20)	0,76	0,69	0,71	0,59	0,65	0,71	0,67	0,60	0,81	0,62	0,75	0,57	0,67	0,92	0,66	0,59	0,67	0,63	0,52	0,62	0,74	0,76	0,72	0,66

3.1.2. Boş mekânda arka plan gürültü düzeyi ölçümleri

İkinci ölçüm olan arka plan gürültü düzeyi ölçümleri mekânın boş halinde, 1/3 oktav bant analizi ile 2 dakika boyunca B&K Type 2250 Class 1 ses düzeyi ölçer ile gerçekleştirilmiş ve restoran boş iken toplam arka plan gürültü düzeyi **42,1 dB(A)** olarak tespit edilmiştir. Aşağıdaki tabloda ise 1/1 oktav bandı ses düzeyleri gösterilmiştir.

Tablo 3. 1/1 oktav bandı arka plan gürültü düzeyi ölçüm sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB SPL(A)	35,8	35,9	38,3	37,8	38,6	35	27,8	17,8

3.1.3. Mekân %50 dolu iken arka plan gürültü düzeyi ölçümleri

Bir sonraki aşamada mekân %50 doluluk (70 kişi) oranındayken mekânın ortasına yerleştirilen NTI Audio XL3 ses düzeyi ölçer ile 1/3 oktav bandı ses düzeyi ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçüm verileri, aşağıda verilen formül aracılığıyla 1/3 oktav bandı ses düzeylerinden 1/1 oktav bandı ses düzeylerine dönüştürülmüştür.

$$L_{oct} = 10 \log \log (10^{(0.1L_1)} + 10^{(0.1L_2)} + 10^{(0.1L_3)}) \quad (1)$$

Formülde L_{oct} =1/1 oktav bandı ses düzeylerini, L_1 , L_2 ve L_3 ise 1/3 oktav bandı ses düzeylerini temsil etmektedir.

%50 dolulukta gerçekleştirilen arka plan gürültü düzeyi ölçüm sonucu ortalaması 68.9 dB L_{Aeq} olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4. 1/1 oktav bandı %50 dolulukta arka plan gürültü düzeyi ölçüm sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB L_{Aeq}	35,98	41,61	51,44	60,72	59,04	55,73	50,45	43,05

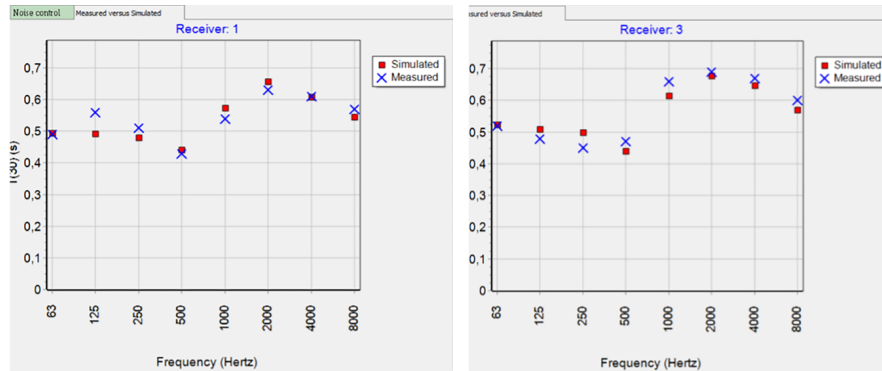
Tablo 4'te yer alan 1/1 oktav bandı ses düzeyleri, ODEON yazılımında konuşmanın anlaşılabilirlik (STI) değerlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan gürültü kriteri (NC, Noise Criteria) eğrisinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

3.2. Akustik simülasyon

Bu aşamada, gerçek mekânın ODEON oda akustiği yazılımına aktarım sürecini ve işitsel modelleme çıktılarının elde edilme aşamaları açıklanmaktadır.

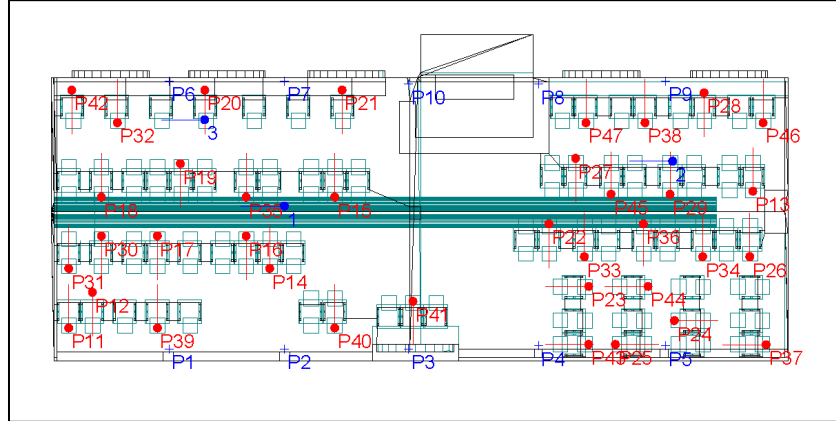
3.2.1. Model kalibrasyonu ve kaynak- alıcı noktalarının belirlenmesi

Hazırlanan üç boyutlu model gerçek ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak ODEON Genetic Material Optimizer modülü ile kalibre edilmiştir.



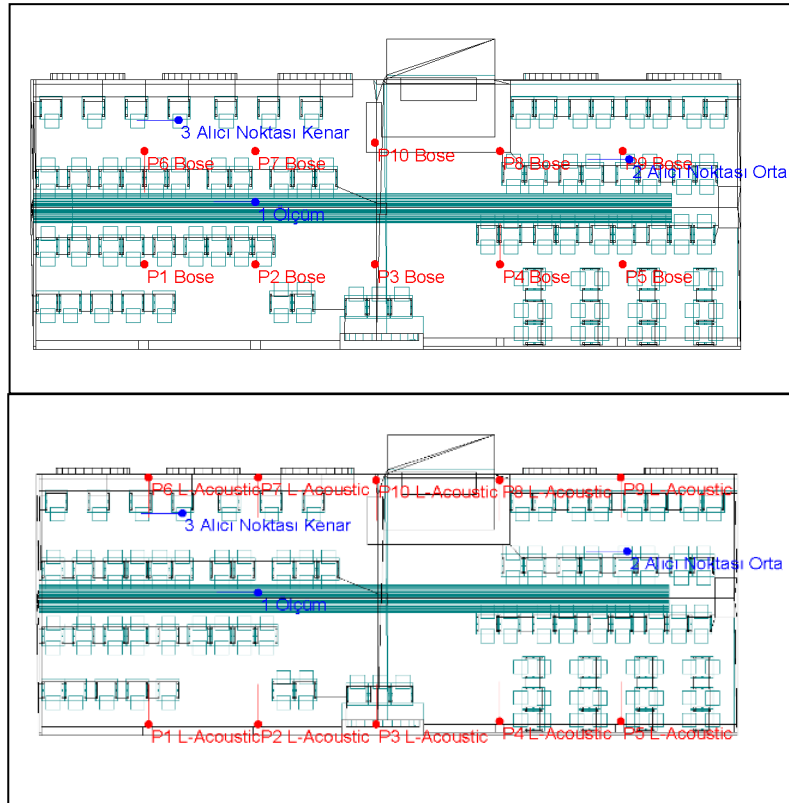
Şekil 2. Alıcı noktası 2 ve 3 için ölçülen ve simüle edilen reverberasyon süresi karşılaştırması. Daha sonrasında işitsel modellemede kullanılmak üzere kaynak alıcı noktaları belirlenmiştir. Her masada yalnızca bir kişinin konuştuğu varsayılarak, oturma kapasitesinin %25'i (37 kişi)

konuşmacı olarak seçilmiştir. Kaynak yüksekliği yerden 1,5 m., alıcı yüksekliği ise 1,2 m. olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3. Konuşmacı (P19-P47) ve alıcı (1-3) noktaları

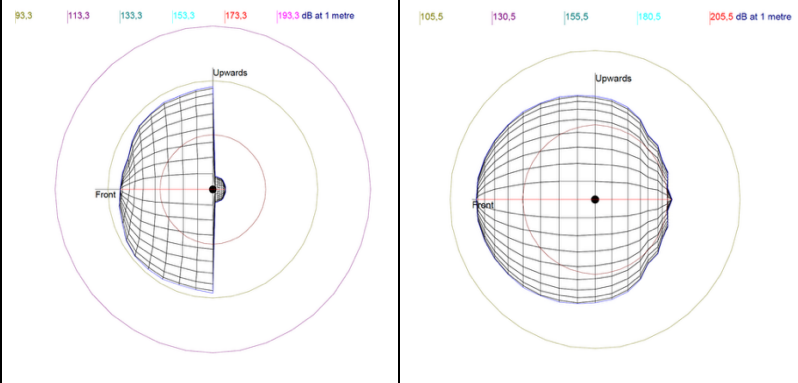
Şekil 8’de gösterilen kaynak alıcı noktalarından P1-P10 arasında on tanesi hoparlörleri temsil etmektedir. Bu çalışmada iki farklı hoparlör modeli kullanılmıştır: Bose EdgeMax EM180 tavan hoparlörü ve L-Acoustics 5XT duvar hoparlörü.



Şekil 4- Bose EdgeMax EM180, L-Acoustics 5 XT kaynak ve alıcı noktaları

Aşağıda simülasyonda kullanılan hoparlörlerin teknik özellikleri ve yayılım diyagramlarını gösteren tablo yer almaktadır.

Tablo 5. Hoparlörlerin teknik özellikleri

	Bose EdgeMax EM180	L-Acoustics 5XT
Frekans aralığı (-10 dB)	45 - 20000 Hz	95 Hz - 20 kHz
Güç kapasitesi, uzun süreli sürekli	150 W	95 W
Hesaplanan maksimum SPL @ 1 m, sürekli	115 dB	121 dB
Nominal kapsama örüntüsü	90° yatay × 75° dikey	110°
Nominal empedans	8 Ω	16 Ω
Yayılm Diyagramları (1000 Hz)		
		

3.2.2. İşitsel modellemenin hazırlanması

İşitsel modelleme (auralization) aşamasında kullanılmak üzere parçaların vokalli ve vokalsiz versiyonları hazırlanmıştır. Tüm ses dosyalarının LU seviyeleri EBU R128 loudness standardına [14] göre 23 LUFS (+/- 1 LU) değerine normalize edilmiş ve true peak seviyesi -1 dBTP'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Dinleme testinde Stax SR-202 kulaklık ve Stax SRM-212 kulaklık amfisi kullanılmış, ODEON yazılımında auralization ayarlarında bu kulaklıkla aynı tepkiye sahip olan Stax SR207 seçilmiştir.

3.3. Dinleme testi ve anket çalışması

Dinleme testi için iki farklı hoparlör yerleşiminde, iki farklı alıcı lokasyonunda, 5 farklı müzik düzeyi test edilmiştir. Böylece toplam 80 adet ses dosyasıyla 30 dakikalık bir dinleme testi gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara Türkçe ve yabancı dilde iki şarkının vokalli ve enstrümantal versiyonları dinletilmiştir. Her örnekte 10'ar adet birbirinden farklı cümle yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan cümlelerin anekoik ses kayıtları, TÜBİTAK UME Akustik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bir projeden [15] elde edilmiştir. Çalışmanın doğruluğunu sağlamak için cümlelerin algılanmasının ve algılanmamasının eşit öneme sahip olduğu dinleyicilere belirtilmiş, kulaklık amfisinin kazanç seviyesi, dinleme testini yürüten kişi tarafından konforlu bir dinleme seviyesi sağlanacak şekilde öznel algıya göre ayarlanmıştır.

3.3.1. Sonuçların müzik düzeyleri bağlamında değerlendirilmesi

Düşük müzik düzeyi (69 dB SPL) konuşmanın anlaşılabilirliğini olumlu etkilemiştir. 75 dB SPL müzik düzeyinde ise konuşmanın anlaşılabilirliğinde olumsuz etkiler görülmeye başlamış, ardından 78-81 dB SPL düzeyinde konuşmanın anlaşılmadığı gözlemlenmiştir.

3.3.2. Sonuçların hoparlör türü bağlamında değerlendirilmesi

L-Acoustics hoparlörleri, Bose hoparlörlerine göre daha iyi anlaşılabilirlik oranları sağlamıştır. Bunun sebebi L-Acoustics hoparlörlerinin bas frekans tepkisinin, Bose hoparlörlerine oranla daha düşük olmasıdır.

3.3.3. Sonuçların vokalli/enstrümantal müzik bağlamında değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçlar enstrümantal müziğin konuşmanın anlaşılabilirlik değerleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Yüksek müzik düzeylerinde (78-81 dB SPL) enstrümantal parçalar, vokalli parçalara göre daha iyi anlaşılabilirlik oranına sahiptir.

3.3.4. Sonuçlar üzerine diğer değerlendirmeler

- Türkçe vokalli parçaların sonuçlarında, 72 dB SPL düzeyinin 69 dB SPL düzeyine göre daha yüksek anlaşılabilirlik sağlamasının sebebi, ilk oturumun getirdiği deneyimsizlik ve dikkat dağılması olarak yorumlanmıştır.
- Türkçe enstrümantal parçada ise her ses basınç düzeyinde konuşmanın anlaşılabilirliği artırmış ve özellikle yüksek müzik ses basınç düzeylerinde vokalli versiyonlara kıyasla daha iyi anlaşılabilirlik görülmüştür.
- Yabancı vokalli parçalarda, Türkçe vokalli parçalara oranla konuşmanın anlaşılabilirliği belirgin şekilde artmıştır. Bunun sebebinin katılımcıların ana dillerinde olmayan vokale odaklanmak yerine dikkatlerini konuşmacıya yönelmeleri olduğu düşünülmektedir.
- Tüm parçalar arasında ise en yüksek anlaşılabilirlik değeri, 69 dB SPL düzeyinde %78,75 oranında yabancı enstrümantal parçada elde edilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında öncelikle, arka plan gürültü düzeyleri ve reverberasyon süresi temel akustik parametreleri ölçülmüş, ardından bu veriler akustik simülasyonun kalibre edilmesinde kullanılmıştır. Daha sonra simülasyon modelleri aracılığıyla elde edilen konvolüsyon çıktıları ile gerçekleştirilen dinleme testleri sayesinde, kullanıcıların algısal geri bildirimleri ölçülmüş ve teknik verilerle ilişkilendirilmiştir. Böylece hem objektif ölçüm sonuçları hem de öznel değerlendirmeler üzerinden restoran içerisinde farklı arka plan müzik düzeylerinin konuşmanın anlaşılabilirlik performansı üzerindeki etkileri bütüncül bir şekilde analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler ve dinleme testleri sonucunda müzik düzeyinin düşük tutulmasının yanında; duvar tipi hoparlör seçiminin bu mekân çerçevesinde konuşmanın anlaşılabilirliğinde daha iyi sonuç gösterdiği tespit edilmiştir. Sözlü şarkılara kıyasla enstrümantal parçaların konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Dinlenen parçanın anadilde olup olmaması durumunun dikkat faktörünü etkileyerek konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde etkili olabileceği hipotezi ortaya konulmuştur. Bu ilerleyen çalışmalarda ele alınacak olan bir araştırma çıktısıdır.

5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: SBA-2025-3701

KAYNAKLAR

- [1] Maruyama, N., Hariguchi, Y., Kawai, K., and Ueda, M., Assessing the Ease of Conversation in Multi-Group Conversation Spaces: Effect of Background Music Volume on Acoustic Comfort in a Café, *Building Acoustics*, Vol. 27, No. 2, pp. 137-153, 2020.
- [2] Novak, C.C., La Lopa, J., and Novak, R.E., Effects of Sound Pressure Levels and Sensitivity to Noise on Mood and Behavioral Intent in a Controlled Fine Dining Restaurant Environment, *Journal of Culinary Science & Technology*, Vol. 8, No. 4, pp. 191-218, 2010.
- [3] Tarlao, C., Fernandez, P., Frissen, I., and Guastavino, C., Influence of Sound Level on Diners' Perceptions and Behavior in a Montreal Restaurant, *Applied Acoustics*, Vol. 174, Article 107753, 2021.
- [4] Harrington, R.J., Ottenbacher, M.C., and Treuter, A., The Musicscape Model: Direct, Mediating, and Moderating Effects in the Casual Restaurant Experience, *International Journal of Hospitality & Tourism Administration*, Vol. 16, No. 2, pp. 99-121, 2015.
- [5] Biswas, D., Lund, K., and Szocs, C., Sounds Like a Healthy Retail Atmospheric Strategy: Effects of Ambient Music and Background Noise on Food Sales, *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 47, pp. 37-55, 2018.
- [6] Guéguen, N., Le Guellec, H., and Jacob, C., Sound Level of Background Music and Alcohol Consumption: An Empirical Evaluation, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 99, No. 1, pp. 34-38, 2004.
- [7] Astolfi, A., and Filippi, M., Good Acoustical Quality in Restaurants: A Compromise Between Speech Intelligibility and Privacy, *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics (ICA 2004)*, Japan, pp. 1201-1204, 2004.
- [8] de Ruiter, E., Smyrnova, Y., and Brown, T., Feedback from the Foodcourt, *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22)*, Italy, 2015.
- [9] Nahid, M., and Hodgson, M., Prediction of Optimal Conditions for Verbal Communication Quality in Eating Establishments, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 129, No. 4, pp. 2005-2014, 2011.
- [10] Nielsen, N.O., Marschall, M., Santurette, S., and Jeong, C., Subjective Evaluation of Restaurant Acoustics in a Virtual Sound Environment, *Proceedings of Inter-Noise 2016*, Hamburg, pp. 6140-6149, 2016.
- [11] Chen, X., and Kang, J., Acoustic Comfort in Large Dining Spaces, *Applied Acoustics*, Vol. 115, pp. 166-172, 2017.
- [12] Mistar, N.A., Sulaiman, R., and Che Din, N.B., A Conceptual Framework for Acoustic Comfort Classification in Eatery Places: Critical Reviews of the Determining Factors, *Acoustics Australia*, Vol. 48, No. 4, pp. 337-348, 2020.
- [13] Shimokura, R., Appropriate Background Music in Japanese Coffee Shops Assessed via Autocorrelation and Beats-Per-Minute Analyses, *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*, Vol. 15, No. 1, pp. 20-28, 2020.
- [14] EBU R128. Loudness Normalisation and Permitted Maximum Level of Audio Signals, European Broadcasting Union, 2023.
- [15] Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) – Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) - 2232 Programı. Proje No: 114C105. “İşitme Engelliler için Sınıf Akustiğinin İyileştirilmesi”.

TÜRKÇE FONEM ANLAŞILABİLİRLİĞİNDE ENERJİ MASKELEME VE BİNORAL AYRIŞIM

Kıvanç Kitapçı¹

¹TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-posta: kkitapci@etu.edu.tr

ÖZET

Bu bildiri, Ekim 2025 – Ekim 2027 tarihleri arasında yürütülecek ve TÜBİTAK 1001, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenen “İletişim kanallarında diller arası konuşma anlaşılabilirliği ve konuşma maskeleme ilişkisi: Enerji maskeleme, bilgi maskeleme ve binoral ayrışım” başlıklı projenin kapsamını özetlemektedir. Projenin konusu, her tür iletişim kanalında tek dilli, çok dilli ve diller arası konuşma anlaşılabilirliğinin Enerji Maskeleme, Bilgi Maskeleme ve Binoral Ayrışım bağlamında incelenmesidir. Önerilen araştırma projesi sayesinde, Türkçe konuşmanın anlaşılabilirliği, maskeleme mekanizmaları (enerji maskeleme, bilgi maskeleme ve maskelemeden mekânsal ayrışma) ve fonemik yapı ilişkisi bağlamında kapsamlı ve disiplinler arası bir yöntemler bütünüyle ortaya konacaktır.

Anahtar Kelimeler: Konuşma akustiği, konuşmanın anlaşılabilirliği, enerji maskeleme, bilgi maskeleme, binoral ayrışım.

ENERGETIC MASKING AND BINORAL UNMASKING IN TURKISH PHONEM INTELLIGIBILITY

ABSTRACT

This paper summarizes the scope of the project titled “Inter-lingual Speech Intelligibility and Speech Masking in Communication Channels: Energetic Masking, Informational Masking, and Binaural Unmasking”, which will be carried out between October 2025 and October 2027 with the support of TÜBİTAK 1001, the Scientific and Technological Research Projects Funding Program. The project focuses on investigating monolingual, multilingual, and cross-linguistic speech intelligibility in all types of communication channels within the framework of Energetic Masking, Informational Masking, and Binaural Separation. Through the proposed research project, Turkish speech intelligibility will be comprehensively examined with an interdisciplinary set of methods, in relation to masking mechanisms (energetic masking, informational masking, and spatial release from masking) and phonemic structure.

Keywords: Speech acoustics, speech intelligibility, energetic masking, information masking, binaural unmasking.

1. GİRİŞ

Bu projenin konusu, her tür iletişim kanalında (hava veya elektronik iletişim sistemleri) tek dilli, iki dilli ve diller arası konuşma anlaşılabilirliğinin Enerji Maskeleyme, Bilgi Maskeleyme ve Binoral Ayırışım bağlamında incelenmesidir. Bu çalışmanın çıktılarının elektronik sözlü iletişim ve otomatik konuşma tanıma-sentezleme sistemlerinin iyileştirilmesi, işitme engelli bireylerin kullandığı işitme cihazlarının ve implantlarının konuşma bağlamında optimizasyonu, hacim akustiği tasarımı ve benzeri birçok alanda yüksek bilimsel, ekonomik ve sosyal etkiye sahip olacağını öngörmekteyiz. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek dinleme testlerinin sonucunda iki tür çıktıya ulaşılması hedeflenmektedir. İlk çıktı, tek dilli ve iki dilli anlaşılabilirlik puanları ile etiketlenmiş ses kayıtlarından oluşan veri setleridir. Bu veri setleri, makine öğrenme (Machine Learning, ML) ve derin öğrenme (Deep Learning, DL) algoritmalarında eğitim veri seti olarak kullanılarak, otomatik konuşma tanıma-sentezleme sistemlerinin iyileştirilmesi ve işitme engelli bireylerin kullandığı işitme cihazlarının ve implantlarının konuşma bağlamında optimizasyonuna yüksek düzeyde katkı sağlayacaktır. İkinci somut çıktı ise, diller arası anlaşılabilirlik puanlarının maskeleyme türlerine ve maskeleyme yönüne bağlı değişimini ortaya koyan karşılaştırmalı sonuç analiz raporudur. Bu raporun, hacim akustiği tasarımı, anons-uyarı sistemleri ve elektro-akustik sistem tasarımı üzerine günümüzde kullanılan ulusal ve uluslararası standartların tek dilli odağını orta-uzun vadede olumlu yönde değiştireceği öngörülmektedir.

Sözel iletişimin anlaşılabilir kılınması üzerine yapılan araştırmalar, mimari akustik tasarımı, anons ve uyarı sistemleri, ses kayıt teknolojileri, işitme engellilerin kullanımı için işitme cihazı teknolojileri ve adli araştırmalar gibi, geniş bir yelpazede konumlanan birçok disiplinde sürdürülmektedir. Dolayısıyla, çeşitli iletişim kanalları üzerinden aktarılan konuşmanın anlaşılabilirliği birçok farklı disiplinde araştırma konusu olmuştur. Günümüzde hızla globalleşmekte olan dünyada sözel iletişim tek bir dille sınırlı kalmamaktadır. Sözel iletişimin gerçekleştiği ortam ister fiziksel bir mekân ister elektronik iletişim araçları olsun, günümüzde aynı iletişim kanalı birden çok dilde konuşmanın iletimi amacıyla kullanılabilir. Araştırma yapılan disiplinlerin kökeninden bağımsız olarak, konuşmanın anlaşılabilirliği üç temel birimin özelliklerine bağlıdır. Bu birimler (1) ses kaynağı, (2) alıcı ve (3) iletişim kanalından oluşmaktadır [1]. İletişim kanalı sözel veriyi ses kaynağından alıcıya taşır. ISO 9921, iletişim kanalının tanımını konuşmacının ağzı ile dinleyicinin kulağı arasında, konuşma sinyalinin iletildiği oda veya elektro-akustik sistem olarak tanımlar [2]. Bu iletişim kanalı genellikle konuşma sinyalinin bozulmasına ve konuşmanın anlaşılabilirliğinin azalmasına neden olur. Mimari akustikte hava, elektronik iletişimde ise kablolu veya kablosuz sinyal taşıyıcı sistemler iletişim kanallarına örnek olarak gösterilebilir. Bu bozulmanın başlıca sebepleri arasında, arka plan gürültüsü, yansıma, eko, ses yayılımı sorunları veya frekans spektrumu sınırlılığı sayılabilir. İletişim kanallarında bulunan arka plan gürültüsü, diğer bozulma sebeplerinden farklı olarak, konuşma maskeleyici etkiye sahiptir. Konuşma maskeleyici sinyaller, konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltır. Her tür ses kaynağı konuşma maskeleyici etkiye sahiptir. Konuşmanın anlaşılabilirliği, iletişim kanallarındaki sinyal-gürültü oranına da (signal-to-noise ratio, SNR) bağlıdır. Yüksek SNR, konuşmanın anlaşılabilirliğinin iyi olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra, mimari akustik gibi iletişim kanalının hava olduğu durumlarda, yansıma süresi (reverberation time, RT) de konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde önemli bir rol üstlenmektedir. RT ile konuşmanın anlaşılabilirliği ters orantılı bir ilişkiye sahiptir. Güncel projede yansıma süresinin konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri kapsam dışı bırakılmıştır. Bu disiplinler arası araştırma projesi Türkçenin konuşulduğu çok dilli iletişim kanallarında, özellikle maskeleyici sinyalin konuşma olduğu

durumlarda, konuşmanın anlaşılabilirliği ile maskeleyici arasındaki ilişkileri akustik ve dil bilimi bağlamında araştırmayı hedeflemektedir.

Sözel iletişimde iletilen ses sinyalleri, özellikle birden çok dilin eş zamanlı kullanılması gerektiği durumlarda, birçok değişkenin etkisi altında akustik olarak bozulur. İletişim kanalı kaynaklı değişkenlerin akustik etkilerinin, farklı diller arasında değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Fakat, iletişim kanallarında iletilen sinyalin akustik bozulmasına neden olan arka plan gürültüsü ve benzeri fiziksel etkiler fonolojik bağlamda incelendiğinde, sinyalin taşıdığı semantik bağlam neticesinde net olmayan sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, dillerin farklı maskeleme koşulları arasındaki anlaşılabilirlik değerlerinin ölçümü, dillerin fonetik özelliklerinin bu etkenler altında ne kadar bozulmaya uğradıklarını test ederek mümkün olmaktadır [3]. Ünsüzler, konuşmanın anlaşılabilirliği bağlamında önemli bir belirteçtir. Ünsüzlerin iletişim kanalı üzerinden transferi sırasında akustik bozulmaya uğraması, konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz etkiler. Bu nedenle, konuşmanın anlaşılabilirliğinin öznel testleri ünsüzlerin anlaşılabilirliği üzerine odaklanırken, nesnel testleri ise yine ünsüzlerin frekans spektrumu üzerine odaklanır [4]. Bu çalışma kapsamında farklı dillerinin anlaşılabilirlik düzeyleri Tanısal Uyak Testleri (Diagnostic Rhyme Test, DRT) ve Fonetik olarak dengelenmiş cümle listeleri (Phonemically Balanced Sentence Tests, PB) ile test edilecektir.

Proje yazımı öncesinde, dört dilin konuşma anlaşılabilirliklerini kıyaslayan bir dizi bilimsel çalışma gerçekleştirdik [4, 5]. Bu çalışmaların sonucunda, konuşmanın anlaşılabilirliğinin, farklı hacim akustığı koşulları altında dilden dile değişiklik gösterdiğini gözlemledik. Yakın geçmişte gerçekleştirdiğimiz çalışmalarda çeşitli dillerin ‘ötümlü, genizsi, sürekli, sızmalı, dudak ve yüksek’ ünsüzler gibi ayırt edici özellikleri (distinctive features) ile konuşma anlaşılabilirlikleri arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştuk. Farklı dillerin konuşma anlaşılabilirlikleri, dinleme testlerindeki kelimelerin içerisinde yer alan ayırt edici ünsüzlere göre değişiklik gösterdiğini gözlemledik. Fakat bu çalışmalarda arka plan gürültüsü olarak beyaz ve pembe gürültü kullandığımız için, maskeleyici sinyalin konuşma olduğu ve semantik veri taşıdığı durumlarda önem kazanan ‘Enerji Maskeleme’ ve ‘Bilgi Maskeleme’ ve ‘Binoral Ayırışım’ gibi, konuşma maskelemenin önemli olgularının çok dilli ve diller arası konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini kapsam dışı bırakmıştık.

Farklı diller üzerinde gerçekleştirilmiş bu çalışmalar, dillerin konuşma anlaşılabilirlikleri arasındaki farkın önemli nedenlerinden birinin, ayırt edici ünsüzlerin taşıdıkları toplam akustik enerji ve değişken frekans spektrumları olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, enerji maskelemenin konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerinin dilden dile değişiklik göstereceği düşünülmektedir ve bu olgu birinci hipotezimizi oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, bilgi maskelemenin etkilerinin de özellikle iki dil bilen konuşmacılar ve dinleyiciler göz önüne alındığında, hedef konuşma sinyalinin veya maskeleyici sinyalin birinci dillerinde (L_1) veya ikinci dillerinde (L_2) oluşuna göre değişiklik göstereceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu öngörü ikinci temel hipotezimizi oluşturmaktadır. Literatürde bulunan çalışmaların sonuçları doğrultusunda, konuşma sinyali ve maskeleyici sinyalin dinleyiciye geliş yönlerindeki farklılığın konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini biliyoruz; fakat, yön farklılığının getirdiği bu anlaşılabilirlik avantajının bugüne kadar gerçekleştirilen hiçbir çalışmada diller arasında incelenmediğini fark ettik. Bu nedenle, son olarak, maskelemeden mekânsal ayırışmanın diller arası konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde etkileri olabileceğini öngörmekteyiz. Bu öngörümüz ise üçüncü ve son temel hipotezimizi oluşturmaktadır.

Özet olarak, önerilen bu araştırma projesinde, konuşma maskelemenin ana mekanizmaları olarak kabul edilen ‘bilgi maskeleme’, ‘enerji maskeleme’, ‘binoral ayrışım’ olgularının, diller arası konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini, bütüncül ve disiplinler arası bir yaklaşım sergileyerek ortaya koymayı hedefliyoruz.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Geçmişte gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar, konuşmanın anlaşılabilirliğinin, konuşulan dilin fonetik özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir [4, 5]. Fonetik özellikleri doğrultusunda, eşit koşullar altında ve eş akustik durumlarda, bir dil diğerinden daha anlaşılabilir veya daha anlaşılabilir olabilmektedir. Fakat, güncel literatür incelendiğinde, farklı diller arasında maskeleyici konuşma ile hedef konuşma arasındaki ilişkinin, dar bir kapsamda ve kısıtlı sayıda çalışma ile incelendiği görülmektedir. Güncel akustik ve dil bilimi literatüründe, hedef konuşma ve maskeleyici konuşma arasındaki ilişkinin fonetik özellikler dikkate alınarak incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

Akustik ve dil bilimi literatüründe yer alan birçok çalışma, farklı dillerin ‘konuşma dışı’ maskeleyicilerin etkisi altında konuşma anlaşılabilirlikleri arasındaki farklılıklar üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalarda çoğunlukla farklı batı dilleri ve Mandarin Çincesi arasındaki farklılıklar araştırılmıştır [6–9] ve farklı dillerin konuşma anlaşılabilirlikleri arasındaki farklar ortaya konmakta ve bu farklılıkların temel nedenleri arasında, diller arasındaki fonemik ve dilbilimsel farklılıkların yer aldığını belirtilmektedir.

Çincenin tonal yapısı ve İngilizcenin geniş ses basınç seviyesi değişken aralığı nedeniyle, iki dilin konuşma anlaşılabilirliklerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaların sonuçları, Çincenin yüksek yansımaya sahip koşullarda daha anlaşılabilir olduğunu; bunun yanı sıra, İngilizcenin arka plan gürültüsünün yüksek olduğu (sinyal-gürültü oranının düşük olduğu) koşullarda daha anlaşılabilir olduğunu göstermektedir [4, 7].

Mekanlarda konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine Türkçeyi dikkate alarak gerçekleştirilen çalışmaların sayısı, ne yazık ki, kısıtlıdır. Alıç ve Özbilen, camilerin iki dilli mekanlar olduğu savından yola çıkarak, bu mekân tipinde Türkçe ve Arapçanın konuşma anlaşılabilirliklerini kıyaslayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [10]. Akustik simülasyon, işitselleştirme ve kelime algı testi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda, Türkçenin Arapçaya kıyasla arka plan gürültüsüne daha hassas olduğu ve Türkçe kelime anlaşılabilirliğinin yüksek arka plan gürültüsünün var olduğu mekanlarda daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, her ne kadar oda akustiği bağlamında Türkçenin fonemik yapısının dikkate alınması nedeniyle büyük önem taşısa da maskeleyicinin konuşma olduğu durumlar dikkate alınmamıştır.

Literatürde, maskeleyici sinyalin konuşma olduğu durumlarda iki dilli konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine gerçekleştirilen çalışmalar bulunmaktadır [11]. Bu güncel çalışmada hem İngilizce hem de Fransızca konuşan iki dilli katılımcıların, ana konuşma ve maskeleyici konuşmanın farklı dillerde olduğu durumlarda, Enerji Maskeleme ve Bilgi Maskeleme mekanizmalarındaki değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, arka plan konuşma içerikli gürültüsünün, konuşmacı dinleyicinin ana dilinde konuştuğunda, konuşmacı dinleyicinin ikinci dilinde konuşmasına kıyasla daha rahatsız edici olduğunu göstermektedir. Bir diğer çalışmada, ana dili (L₁) İtalyanca, Almanca, Danca ve Yunanca olan ve ikinci dili (L₂) İngilizce olan konuşmacıların ünsüz sesleri tanıma performansları incelenmiştir [12]. Çalışmada hedef konuşma katılımcıların L₁ dilindedir. Maskeleyici olarak ise katılımcıların

L₂ dilindeki çok sayıda cümlelerin bir araya gelmesinden oluşan bir gürültü kullanılmıştır. Ulaşılan sonuç, düzenli bir konuşmacı gürültüsünün modüle edilmiş konuşmacı gürültüsüne kıyasla daha iyi bir maskeleyici olduğunu göstermektedir. İki dilli konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine yapılan bir diğer önemli çalışma ise İngilizce-Mandarin iki dilli bireylerin, İngilizce hedef konuşma, Mandarin maskeleyici ve Mandarin hedef konuşma, İngilizce maskeleyici koşullarında EM bağlantılı olarak maskelemeyi kurtulma performanslarını kıyaslamıştır [13]. 2024 senesinde gerçekleştirilmiş bu çalışma, araştırma sorularının benzerliği bağlamında, proje önerimiz için büyük öneme sahiptir. Ancak, bu üç çalışmada da kullanılan dillerin fonetik özelliklerinin dikkate alınmadığını belirtmek gerekir. Özellikle enerji maskeleme ve bilgi maskeleme mekanizmaları göz önünde bulundurulduğunda, dillerin fonetik özellikleri nedeniyle konuşmanın anlaşılabilirliğinin dilden dile değişmesi muhtemeldir ve tarafımızca öngörülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda, maskeleyici konuşma sesleri ile anlaşılacak istenen konuşma seslerinin konumları mekânsal olarak ayrıştığında, yani SRM etkisi altında, konuşmanın anlaşılabilirliğinin olumlu yönde değiştiği gözlemlenmektedir. Fakat SRM'den elde edilen anlaşılabilirlik faydası konuşmanın gerçekleştiği mekânın akustik özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Örnek olarak, anekoik odada gerçekleştirilen bir çalışmanın sonucunda, hedef konuşma ve maskeleyicinin mekânsal ayrışmasından kaynaklanan anlaşılabilirlik faydasının yansıma süresi yüksek olduğu mekanlarda anekoik koşullara kıyasla azaldığını ortaya konmaktadır [14]. SRM ve dolayısıyla BU'nun konuşma üzerindeki olumlu etkileri fiziksel mekanların yanı sıra binoral ses prodüksiyon teknolojilerinde de gözlemlenmiştir [15]. Mekânsal ayrışma yalnızca azimut düzleminde düşünülmemelidir. Hedef konuşma ve maskeleyici, dinleyiciye kıyasla mesafe bağlamında da konum farklılığı gösterebilir. Dinleyiciye yakın konumlanan maskeleyicilerin konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki olumsuz etkisi daha yüksektir [16] ve bu durum, özellikle işitme engelli bireylerin hedef konuşmaya odaklanmasını zorlaştırmaktadır [17]. Bunun yanı sıra, işitme engelli bireylerin SRM ve BU mekanizmalarında edineceği anlaşılabilirlik faydası, kullanılan koklear implant tipine göre değişmektedir. Bilateral implant kullanıcılarının unilateral implant kullanıcıları ile kıyaslandığında SRM ve BU mekanizmasından daha yüksek fayda sağladığı görülmektedir [18]. Fiziksel mekanlarda işitme engelli bireyler için binoral etkilerin ön görülebilmesi için çeşitli tahmin modelleri de geliştirilmiş olsa da bu modeller ya yansıma süresi (RT) gibi fiziksel değişkenleri ya da bilgi maskeleme gibi semantik mekanizmaları göz ardı etmektedir [19]. Bunun yanı sıra, mekanların yüksek RT ve düşük C₅₀ gibi akustik özelliklerinin SRM'nin anlaşılabilirlik üzerindeki olumlu etkilerini azalttığı belirtir veriler literatürde mevcuttur [20].

Sonuç olarak, tek dilli ve iki dilli konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların EM, IM, SRM gibi maskeleme mekanizmalarını binoral ve monoral bağlamda incelediği görülmektedir. Konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine bütüncül bir bakış açısına sahip olabilmek adına aşağıdaki bilgilerin literatüre katılmasının büyük önem arz ettiğini düşünmekteyiz.

3. YÖNTEM

Bu araştırma, Türkçe, İngilizce ve Arapça olmak üzere, toplam üç dilin konuşma anlaşılabilirliklerini, Enerji Maskeleme, Bilgi Maskeleme ve Binoral Ayrışım bağlamında incelemeyi hedeflemektedir.

3.1. Katılımcılar

Araştırma kapsamında yürütülmesi planlanan dinleme testleri tek dilli (bilingual) ve iki dilli (monolingual) katılımcılar üzerinde gerçekleştirilecektir. Katılımcıların sahip oldukları iki dilde de en az B2 seviyesinde dil yeterliliğine sahip olmaları beklenecektir. İki dilli katılımcılar deney grubunu, tek dilli katılımcılar ise kontrol grubunu oluşturacaktır. Hem konuşmacı hem de dinleyici grubunun yarısı kadın, yarısı erkek 18-45 yaş arası katılımcılardan oluşacaktır. Katılımcılar normal duyma seviyesine sahip olduklarının tespit edilmesi amacıyla odyometrik teste tabi tutulacaktır (<20 dB HL). İşitme kaybı veya konuşma bozukluğu bulunan kişiler çalışmaya alınmayacaktır. Çalışmada hedeflenen katılımcı sayısı güç analizi ile belirlenmiştir. Analizde, diller arası karşılaştırmayı temel alan karışık tasarımlı ANOVA modeli esas alınmış ve orta büyüklükte bir etki büyüklüğü ($f = 0,25$), %5 hata payı ve %80 güç düzeyi varsayılmıştır. Bu koşullar altında yaklaşık 84 katılımcı gerekliliği hesaplanmıştır. Ancak, veri kaybı ve katılımcı dışlanması gibi olası riskler göz önüne alınarak sayı 90 olarak belirlenmiştir. Böylece her dil grubu için yaklaşık 30 katılımcı ile çalışmanın istatistiksel olarak yeterli güce ulaşması sağlanacaktır.

3.2. Kelime ve cümle listeleri

Çalışma kapsamında iki tip test materyali kullanılacaktır. Bu materyaller Tanısal Uyak Testleri (Diagnostic Rhyme Test, DRT) ve Fonemik Olarak Dengelenmiş Cümle Listeleridir (Phonemically Balanced Sentence Lists, PB). DRT testlerinin, enerji maskelemenin konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini araştırmak için, PB testlerinin ise bilgi maskelemenin etkilerini incelemek amacıyla kullanılması planlanmaktadır. DRT testleri, dillerin bir dizi ayırt edici özellik kullanılarak (örn. ötümlü, genizsi, sürekli, sızmalı, dudak ve yüksek) tanımlanabileceği varsayımına dayanmaktadır [21]. Bu ayırt edici özellikler, konuşmanın fonetik özelliklerinden (konuşma seslerinin fiziksel olarak nasıl üretildiği) ziyade konuşmanın fonolojik özelliklerini (belirli bir dilde konuşma seslerinin nasıl kullanıldığı) temsil etmektedir [22].

DRT, çiftler halinde düzenlenmiş kelime listeleridir. Kelimeler tek hecelidir ve ünsüz-ünlü-ünsüz (CVC) diziliminde sıralanan üç sestene oluşur. Kelime çiftleri sadece ilk ünsüzlerinde farklılık gösterir, böylece bir dilin ünsüzlerinin ayırt ediciliği detaylı olarak analiz edilebilir. Bu araştırma kapsamında Türkçe [23], İngilizce [3] ve Arapça [24] olmak üzere toplam üç farklı DRT listesinin kullanılması öngörülmektedir.

Fonetik olarak dengelenmiş cümle listeleri, gürültüde konuşmayı anlama testlerinde (Hearing in Noise Test, HINT) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında, konuşmanın semantik içeriği ile anlaşılabilirlik arasındaki ilişkinin bilgi maskeleme bağlamında testleri, fonetik olarak dengelenmiş cümle listeleri aracılığı ile gerçekleştirilecektir. Türkçe [25], İngilizce [26] ve Arapça [27] fonetik olarak dengelenmiş cümle testleri kullanılacaktır.

Dinleme testi materyalleri bir odyometrik kabin içerisinde kayıt altına alınacaktır. Ses kayıtlarını binoral olarak gerçekleştirmek için 'Neumann KU-100' kafa-torso simülatörü kullanılacaktır. Her bir kelime ve cümle listesi, ana dili ilgili dil olan konuşmacılar tarafından okunacaktır. Konuşma kayıtlarında her dil için iki kadın ve iki erkek konuşmacı kullanılacaktır. Konuşmacıların seçiminde konuşmacının ilgili dildeki profesyonel deneyimi dikkate alınacaktır.

Kaydedilen kelime ve cümlelerin ses basınç seviyeleri (RMS), bilimsel hassasiyete sahip bir ses seviye ölçere (NTI XL2) bağlanmış bir kafa-torso simülatörü kullanılarak eş düzeye getirilecektir. Kalibre edilecek ses kayıtları, kafa-torso simülatörünün kulakları üzerine yerleştirilecek Beyerdynamic DT 770 kapalı tip stüdyo referans kulaklığı aracılığıyla alınacaktır.

Kalibre edilen ses dosyaları, kelimelerin sıralamanın rastgele olarak düzenlenmesi ve kelimeler arasındaki boşlukların ayarlanması amacıyla post-produksiyon işlemlerine tabi tutulacaktır. Ses işleme yazılımının bir kanalında L_1 DRT listesindeki kelimeler rastgele bir sırayla, 1.4 saniyelik periyot düzeniyle yerleştirilecektir [28]. Ses işleme yazılımının ikinci kanalında ise L_2 DRT listesinde yer alan CVC kelimeler yine kendi aralarında rastgele bir sırayla ve aynı periyotla yerleştirilecektir. L_2 CVC kelimelerin RMS seviyeleri, sonuç sinyal-gürültü oranı 0 dB, -4 dB, -8 dB, -12 dB veya -16 dB olacak şekilde normalize edilecektir. L_1 ve L_2 CVC kelimelerin başlangıç noktaları yüksek hassasiyetle senkronize edilecektir. Maskelemeyen mekânsal ayırma test edilebilmesi adına maskeleyici kanalın yönü $+90^\circ$, $+45^\circ$, -90° , -45° ve 0° azimut pozisyonlarında değişiklik gösterecektir. Birinci ve ikinci kanalın miksajı ile oluşturulacak ses dosyaları 44.100 kHz örneklem boyutuyla dışa aktarılacaktır. Sonuçta oluşacak kayıt, toplam 6300 hedef konuşma - maskeleyici çifti içerecektir. Her bir hedef konuşma - maskeleyici çifti, konuşmacı cinsiyeti, hedef konuşma ayırt edici özelliği, maskeleyici tipi ve sinyal-gürültü oranı özellikleri bağlamında rastgele değişkenlik gösterecektir. Ses kaydı hazırlık prosedürü her bir katılımcı için ayrı bir miksaj oluşturuluncaya kadar devam edecektir.

3.3. Dinleme testleri

Dinleme testleri odyometrik kabin içerisinde gerçekleştirilecektir. Katılımcılar bir masaüstü bilgisayara bağlı harici ses kartı (Focusrite Scarlett 2i2) aracılığıyla üretilen sesleri, tam kapalı bir stüdyo kulaklığı (Beyerdynamic DT-770 PRO, 80 ohm) ile dinleyeceklerdir. Katılımcılar, ilgili dinleme testinin cevaplarını, bir bilgisayar klavyesi yardımıyla, dinleme kabini içinde bulunan bilgisayar monitöründe sunulan direktifler doğrultusunda işaretleyeceklerdir. Test arayüzü, cevapların toplanması ve veri depolama Mathworks MATLAB yazılımı üzerinden gerçekleştirilecektir. Testlerin uygulanmasından sorumlu teknik personel, dinleme kabini dışında konumlanmış bir bölümünde testlerin ilerleyişini kontrol edecektir.

Enerji maskeleme dinleme testlerinde hem hedef konuşma hem de maskeleyici olarak DRT kelime listeleri kullanılacaktır. Hedef konuşma için kullanılacak CVC kelimeler dinleme testi katılımcılarının L_1 dilinde hazırlanan DRT listesinden, maskeleyici konuşma için kullanılacak CVC kelimeler ise yine aynı katılımcının L_2 dilinde hazırlanan DRT listesinden seçilecektir. Dinleyicilere sunulacak ses kayıtları dinleme testi öncesi post-produksiyon aşamasında, ilgili DRT listelerinden rastgele olarak seçilen L_1 CVC kelimeler ve L_2 CVC kelimeler, yine rastgele olarak seçilecek bir sinyal-gürültü oranında (0 dB, -4 dB, -8 dB, -12 dB veya -16 dB) karıştırılmasıyla hazırlanacaktır. Maskeleyici olarak, L_2 CVC kelimelerin yanı sıra beyaz gürültü de kullanılacaktır. Hedef konuşma erkek konuşmacı ise, maskeleyici konuşma kadın ve hedef konuşma kadınsa maskeleyici konuşma erkek olacaktır. Hazırlanan ses kayıtları, ses yalıtımlı odyometrik kabin içerisinde, kulaklık üzerinden dinletilecektir. Dinleyiciler, ekranda sunulan iki kelime arasından, yine ekranda belirtilen cinsiyetin seslendirdiği kelimeye odaklanarak, doğru olan seçeneği bilgisayara bağlı fare aracılığı ile işaretleyecektir.

Bilgi maskeleme dinleme testlerinde hedef konuşma için teste katılan dinleyicinin L_1 dilinde fonetik olarak dengelenmiş cümle listeleri kullanılacaktır. Hedef konuşma, iki farklı tür

maskeleyici ile maskelenecektir. İlk maskeleyici türü anlaşılabilir konuşmadır ve teste katılan dinleyicinin L₂ dilinde hazırlanmış fonetik olarak dengelenmiş cümle listesi kayıtlarından oluşacaktır. Uluslararası Konuşma Test Sinyali (ISTS) ikinci maskeleyici türünü oluşturmaktadır. Bu maskeleyicilerin kullanılmasındaki temel amaç, semantik veri taşıyan maskeleyici ve semantik veri taşımayan maskeleyicinin kullanıldığı durumlar arasında farklı lisansların tek dilli ve iki dilli cümle anlaşılabilirliklerini kıyaslamaktır.

Bilgi maskeleme dinleme testleri odyometrik kabin içerisinde gerçekleştirilecektir. Hazırlanan test materyalleri bilgisayara Focusrite Scarlett 2i2 ses arayüzü ile bağlı Beyerdynamic DT 770 PRO (80 ohm) tam kapalı stüdyo tipi referans kulaklığı aracılığı ile dinleyicilere sunulacaktır. Ses kayıtları, hedef cümlelerin ses basınç seviyesi 65 dB(A) olacak şekilde ayarlanacaktır. Dinleyiciler, her cümle bittikten sonra duydukları hedef cümleyi klavye aracılığı ile yazılım arayüzünde belirtilen metin kutucuğuna gireceklerdir. Cevap girişi için süre sınırı bulunmayacaktır.

4. SONUÇ

Bu proje kapsamında, Türkçe, Arapça ve İngilizce dillerinde dinleme testleri gerçekleştirilecektir. Dillerin fonetik özelliklerinin maskeleme mekanizmaları üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla belirlenen üç dilde hazırlanmış Tanısal Uyak Testleri ve Fonetik Olarak Dengelenmiş Cümle Testleri kullanılacaktır. Tanısal Uyak Testleri enerji maskelemenin etkilerini, Fonetik Olarak Dengelenmiş Cümle Testleri ise bilgi maskelemenin etkilerini araştırmak amacıyla kullanılacaktır. Dinleme testlerinde kullanılacak materyal binoral yöntemlerle kaydedilecek ve maskelemeden mekânsal ayrışmanın ve binoral ayrışımın etkileri bu kayıtlar kullanılarak test edilecektir. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki hedeflere ulaşılması öngörülmektedir:

- Enerji maskelemenin Türkçe, Arapça ve İngilizce konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri tespit edilecektir.
- Maskeleyici dilinin enerji maskeleme üzerindeki etkileri dillerin fonetik yapıları bağlamında ortaya konacaktır.
- Bilgi maskelemenin Türkçe, Arapça ve İngilizce konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri tespit edilecektir.
- Maskeleyici dilinin bilgi maskeleme üzerindeki etkileri dillerin fonetik yapıları bağlamında ortaya konacaktır.
- Maskelemeden mekânsal ayrışma ve binoral ayrışımın Türkçe, Arapça ve İngilizce konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri tespit edilecektir.
- Maskeleyici dilinin maskelemeden mekânsal ayrışma ve binoral ayrışım üzerindeki etkileri dillerin fonetik yapıları bağlamında ortaya konulacaktır.
- Tek dilli ve iki dilli anlaşılabilirlik puanları ile etiketlenmiş ses kayıtlarından oluşan ML ve DL eğitim veri seti üretilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Long, M., Architectural acoustics, 2014.
- [2] Ergonomics — Assessment of speech communication, 2003.
- [3] Voiers, W., Diagnostic acceptability measure for speech communication systems, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Hartford, CT, USA, pp.204-207, 1977.
- [4] Galbrun, L., Kitapci, K., Speech intelligibility of English, Polish, Arabic and Mandarin under different room acoustic conditions, Applied Acoustics, Vol. 114, pp.79-91, 2016.
- [5] Kitapci, K., Galbrun, L., Perceptual analysis of the speech intelligibility and soundscape of multilingual environments, Applied Acoustics, Vol. 151, pp.124-136, 2019.
- [6] Houtgast, T., Steeneken, H.J.M., A multi-language evaluation of the RASTI method for estimating speech intelligibility in auditoria, NASA STI/Recon Technical Report N, Vol. 83, pp.11431, 1982.
- [7] Kang, J., Comparison of speech intelligibility between English and Chinese, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 103, pp.1213-1216, 1998.
- [8] Peng, J., Bei, C., Sun, H., Relationship between Chinese speech intelligibility and speech transmission index in rooms based on auralization, Speech Communication, Vol. 53, pp.986-990, 2011.
- [9] Zhu, P., Mo, F., Kang, J., Relationship Between Chinese Speech Intelligibility and Speech Transmission Index Under Reproduced General Room Conditions, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 100, pp.880-887, 2014.
- [10] Alic, E., Ozcevik Bilen, A., Mosque as a Bilingual Space – an Investigation on Speech Intelligibility in Mosque Acoustics Using Simulation Techniques, Archives of Acoustics, pp.443-457, 2021.
- [11] Lew, E., Hallot, S., Byers-Heinlein, K., vd., Navigating the bilingual cocktail party: a critical role for listeners' L1 in the linguistic aspect of informational masking, Bilingualism: Language and Cognition, Vol. 28, pp.748-756, 2025.
- [12] Marchegiani, L., Fafoutis, X., On cross-language consonant identification in second language noise, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 138, pp.2206-2209, 2015.
- [13] Smith, E.D., Holt, L.L., Dick, F., A one-man bilingual cocktail party: linguistic and non-linguistic effects on bilinguals' speech recognition in Mandarin and English, Cognitive Research: Principles and Implications, Vol. 9, pp.35, 2024.
- [14] Freyman, R.L., Helfer, K.S., McCall, D.D., vd., The role of perceived spatial separation in the unmasking of speech, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 106, pp.3578-3588, 1999.
- [15] Tang, Y., Cooke, M., Fazenda, B.M., vd., A metric for predicting binaural speech intelligibility in stationary noise and competing speech maskers, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 140, pp.1858-1870, 2016.
- [16] Westermann, A., Buchholz, J.M., The effect of spatial separation in distance on the intelligibility of speech in rooms, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 137, pp.757-767, 2015.
- [17] Westermann, A., Buchholz, J.M., The effect of hearing loss on source-distance dependent speech intelligibility in rooms, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 141, pp.EL140-EL145, 2017.
- [18] Rana, B., Buchholz, J.M., Morgan, C., vd., Bilateral Versus Unilateral Cochlear Implantation in Adult Listeners: Speech-On-Speech Masking and Multitalker Localization, Trends in Hearing, Vol. 21, pp.2331216517722106, 2017.

- [19] Beutelmann, R., Brand, T., Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 120, pp.331-342, 2006.
- [20] Hui, C.T.J., Hioka, Y., Masuda, H., vd., Differences between listeners with early and late immersion age in spatial release from masking in various acoustic environments, *Speech Communication*, Vol. 139, pp.51-61, 2022.
- [21] Roman Jakobson, Verbal communication, *Scientific American*, Vol. 227, pp.77-81, 1972.
- [22] Hornby, A.S., Oxford advanced learner's dictionary of current English, 1987.
- [23] Haşim Sak, Tunga Güngör, Yaşar Safkan, A Corpus-Based Concatenative Speech Synthesis System for Turkish, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Vol. 14, pp.209-223, 2006.
- [24] Boudraa, B., Boudraa, M., Guerin, B., Arabic Diagnostic Rhyme Test using minimal pairs, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 123, pp.3324-3324, 2008.
- [25] Cekic, S., Sennaroglu, G., The Turkish Hearing in Noise Test, *International Journal of Audiology*, Vol. 47, pp.366-368, 2008.
- [26] Kalikow, D.N., Stevens, K.N., Elliott, L.L., Development of a test of speech intelligibility in noise using sentence materials with controlled word predictability, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 61, pp.1337-1351, 1977.
- [27] M. Boudraa, B. Boudraa, B. Guerin, Twenty lists of ten Arabic sentences for assessment, *Acustica United with Acta Acustica*, Vol. 86, pp.870-882, 2000.
- [28] Cohen, M.F., Effects of Stimulus Presentation Rate upon Intelligibility-Test Scores, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 37, pp.1206-1206, 1965.

ÇINLAMA SÜRESİ VE FARKLI DİL KULLANIMININ TARİHİ DİNİ MEKAN ALGISINA ETKİSİ

Zinah Al-Bayyar¹, Papatya Nur Dökmeci Yörükoğlu²

^{1,2} Çankaya Üniversitesi, Etimesgut, Ankara, Türkiye
e-posta: z.albayyar@gmail.com, papatya@cankaya.edu.tr

ÖZET

Literatürde tarihi ve dini yapıların işitsel peyzaj değerlendirmesine dair birçok çalışma olsa da, mekân dilinin ve akustik koşulların algı üzerindeki birleşik etkisine yönelik araştırmalar sürmektedir. Bu çalışmada, çınlama süresi (RT) ve dilin tarihi dini mekân algısına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında akustik modelleme ve dinleme testleri yapılmış, 15 katılımcıya Arapça/Türkçe dini icralar ve üç farklı RT kombinasyonundan oluşan altı işitsel model dinletilmiştir. Anketler, 5'li Likert ölçeği ve Büyüklük Tahmin Yöntemi (ME) formatlarında hazırlanmıştır. Analizler, çınlama süresi ve dilin algı üzerinde doğrudan etkili olduğunu, Likert ve ME yöntemlerinin farklı hassasiyet gösterdiğini ortaya koymuştur. Bulgular, sanal ortamlarda tarihi dini mekânların işitselleştirilmesi ve iç mekân işitsel peyzaj alanına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çınlama süresi, dil farkı, tarihi dini mekanlar, işitsel peyzaj algısı, işitsel benzetim modeli.

REVERBERATION TIME AND DIFFERENT-LANGUAGE CONTEXT EFFECTS ON EVALUATING HISTORICAL RELIGIOUS PLACES

ABSTRACT

Several studies explore the acoustics and auralizations of historical religious places; however, the combined effect of acoustic conditions and language on user perception remains unexplored. This study investigates the joint influence of reverberation time (RT) and language on the perception of historical religious spaces. Listening tests were conducted with 15 participants who experienced six auralizations combining three RTs and Arabic/Turkish melodic contexts within a panoramic Virtual Reality (VR) environment. Questionnaires used two assessment formats—5-point Likert and Magnitude Estimation (ME)—to compare evaluation sensitivity. Descriptive analysis revealed that both RT and language significantly affected perception, and Likert and ME methods showed differing sensitivity levels. These findings contribute to VR-based auralizations of historical religious spaces, the indoor soundscape field, and interdisciplinary research on sacred space acoustics.

Keywords: Reverberation time, language, historical religious place, indoor soundscape perception, auralization.

1. GİRİŞ

Tarihi dini mekanlar, insanlık tarihinin en önemli yapılarından biri olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni, bu mekanların farklı çağlar ve medeniyetler boyunca özgün işlevlerini koruyarak günümüze ulaşmış olmalarıdır. Dini işlevlerinin yanı sıra, kutsal mekanlarda turizm ve sosyal etkinlikler de gerçekleştirilmektedir. Buna bağlı olarak, bu mekanların akustiği, etkinliklerin uygun biçimde yürütülmesini sağlamak kutsallık hissini desteklemek açısından giderek artan bir öneme sahip olmaktadır.

Birçok çalışma, tarihi dini mekanların iç mekân işitsel peyzaj analizini benzetim modellemesi ile yapmaktadır ve işitsel ortamların deneyimlenmesine imkân tanıyacak şekilde işitsel modelleme gerçekleştirmiştir. Örneğin, bir çalışmada tarihi bir camiye uygulanan mekansal düzenlemelerin dinlenebilmesi sağlanmıştır [1]. Başka bir çalışmada ise, Notre-Dame Katedrali'nin ses ortamının sanal ve etkileşimli olarak deneyimlenmesi sağlanmıştır [2]. Benzer çalışmalar, olguların gerçek akustik benzetim modellemelerinin yapılmasına dayanmakta ve geniş bir kullanıcı/dinleyici kitlesinin ses ortamını deneyimlemesini kolaylaştırmaktadır.

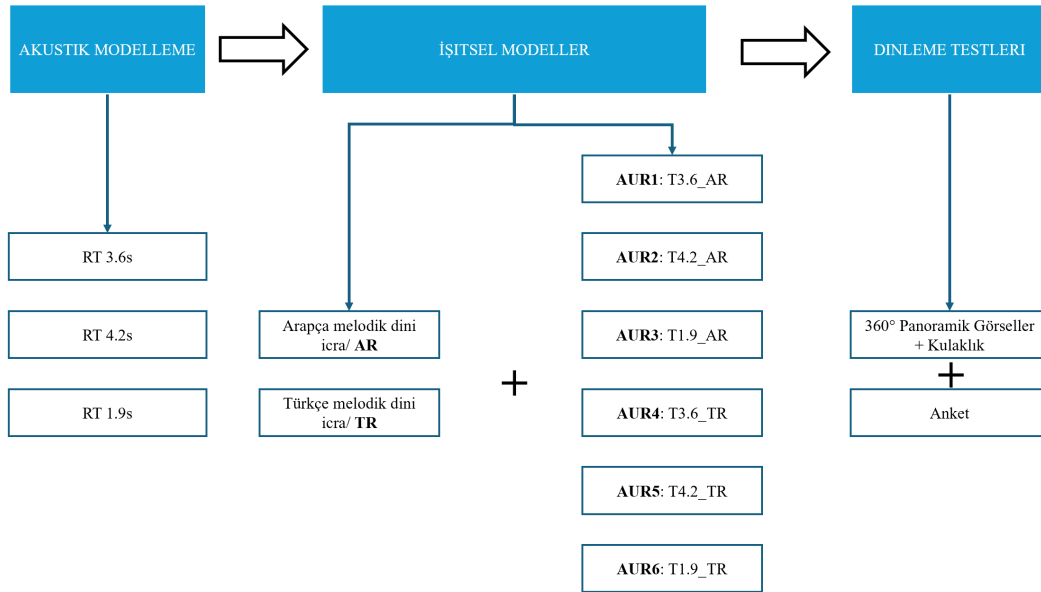
Pek çok dini mekânda olduğu gibi, ibadetler sırasında birden fazla dil kullanılabilir. Farklı diller, konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamak için özgün akustik gereksinimler ortaya koymaktadır [3] ve bu durum, çoğu dini mekan için temel bir kaygıdır. Ayrıca, kutsal mekanlarda bu duygunun sağlanması da kritik öneme sahiptir. Kutsallık duygusunun yüksek çınlama süresi ile sağlanması durumu, konuşma anlaşılabilirliği ile çelişebilen akustik koşulları beraberinde getirebilmektedir. Birden fazla dilin kullanıldığı durumlarda, mekânın akustik özellikleri bir dili ya da algıyı diğerine kıyasla daha avantajlı yapabilir. Örneğin, camilerdeki temel dinsel bağlam ve en yüksek manevi ritüel olan tilavet yalnızca Arapça diliyle gerçekleştirilmektedir. Ancak, diğer dini ritüeller ve konuşmalar caminin bulunduğu bölgenin yerel diliyle yapılmaktadır. Dolayısıyla, Arapça konuşulan bölgeler dışındaki camilerde en az iki dilin kullanılması beklenmektedir. Sonuç olarak, caminin akustik ortamı, bu sözlü bağlamların anlaşılabilirliği üzerinde doğrudan etkili olacaktır [4].

Kullanıcıların hem tarihi hem de dini mekanlara yönelik algıları; kentsel ya da kapalı mekanlar, tarihöncesi, Hristiyan, Müslüman veya diğer dinlere ilişkin bağlamlarda incelenmiştir [5–8]. Bu mekanlardaki kullanıcı algısını değerlendirmek amacıyla Likert ölçeği, anlamsal farklılık ölçeği ve yapılandırılmış mülakatlar gibi çeşitli değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Psikofizik alanında bir yöntem olan Büyüklük Tahmin Yöntemi (Magnitude Estimation, ME), akustik çevrenin kullanıcı algısı üzerindeki etkisini doğrudan ele alabilmektedir. Bu yöntem, bir uyarının büyüklüğünün, o uyarana yönelik algıdaki karşılığını incelemektedir [9–11]. ME yönteminin işitsel ve VR temelli çalışmalarda da kullanıldığı görülmektedir [12–15]. Bu doğrultuda, yapılan bu çalışmada çınlama süresi (RT) değişimleri ve dil kombinasyonlarının algı üzerindeki etkisinin incelenmesinde ME yönteminin kullanılabilirliği ve olası yararlarının test edilmesi planlanmıştır.

Artan önemleri ve dil boyutunun yeterince ele alınmamış olması nedeniyle, bu çalışma çınlama süresi (RT) ve dil içeriğinin tarihi bir dini mekânda kullanıcı algısı üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu tür algıların değerlendirilmesi için daha esnek bir yöntem sunmak amacıyla, Likert ölçeği (yaygın kullanılan yöntemlerden biri) ile ME yönteminin karşılaştırılması hedeflenmektedir.

2. ÖLÇÜMLER

Bu çalışmanın bulguları, dinleme testlerinden elde edilen sonuçlara dayanmaktadır. İlk olarak Ankara’da yer alan Cenabi Ahmet Paşa Camii çalışma kapsamında ele alınacak tarihi dini mekân olarak seçilmiştir. Akustik benzetim modeli ve yüzey malzemelerinde yapılan değişiklikler temel alınarak üç farklı akustik koşul elde edilmiştir. Bu koşullara dayanarak, farklı RT ve dil kombinasyonlarını içeren altı işitsel model üretilmiştir (Şekil 1).



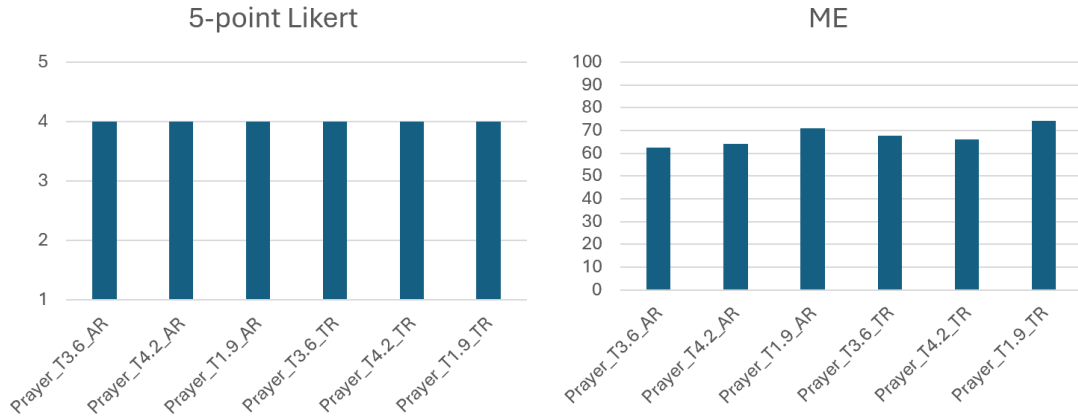
Şekil 1. Dinleme testinin gerçekleştirilmesi için izlenen adımlar (RT ve T = Reverberation Time; AR = Arapça; TR = Türkçe)

Anket, tarihi dini mekan deneyimini yansıtan göstergelerin literatürden türetilmesiyle oluşturulmuştur. Altı gösterge seçilmiştir: ibadet (prayer), kutsal (sacred), uyanış (awakening), önem (importance), kalite (quality) ve tarihi (historical) [5,6,16–20]. Her gösterge, katılımcılara önce 5’li Likert ölçeğiyle, ardından ME yöntemiyle sunulmuştur. Likert ölçeğinde katılımcılardan, her bir gösterge için 1 (kesinlikle katılmıyorum) ile 5 (kesinlikle katılıyorum) arasında bir değerlendirme yapmaları istenmiştir. ME yönteminde ise katılımcılardan, algılanan göstergenin büyüklüğünü yansıtacak şekilde 1 ile 100 arasında bir sayı vermeleri istenmiştir.

Dinleme testi, Çankaya Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü, Yapı Fiziği ve Çevre Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Toplam 15 katılımcı katılmıştır. Katılımcılardan önce demografik bilgilerini ve tarihi ve/veya dini mekanları ziyaret etme tercihlerini belirtmeleri istenmiştir. İkinci aşamada ise katılımcılara kulaklık takmaları, mekânın ses benzetimleri ile eş zamanlı panoramik görsellerini deneyimlemeleri ve sırasıyla Likert ölçeği ile ME anketini yanıtlamaları talimatı verilmiştir. Akustik ve dil koşulları değiştikçe her iki ölçek de altı kez yanıtlanmıştır. Anketleri tamamlamaları için yaklaşık 20 dakika sürmüştür. İşitsel-görsel veri sırasının cevapları etkilememesi için rastgele sıralama yöntemi kullanılmıştır.

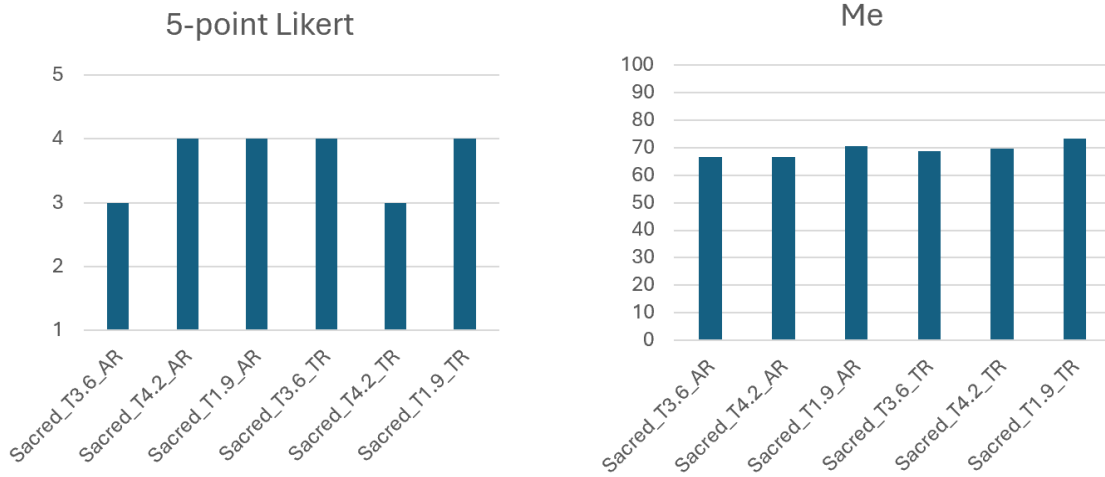
4. BULGULAR

Dinleme testlerinin sonuçları, kutsal bir mekânın akustiğinin değişiminin dil kullanımı ile birlikte mekanın değerlendirilmesini etkilediğini göstermiştir. İlk olarak incelenen gösterge, Şekil 2’de gösterildiği üzere ibadet (prayer) göstergesidir.



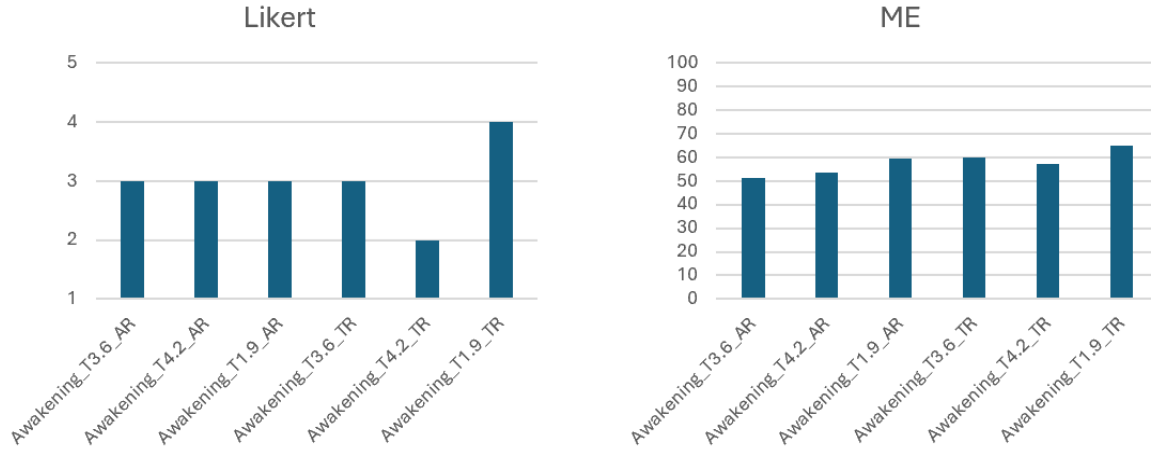
Şekil 2. 5’li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *ibadet (prayer)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

İbadet göstergesi, kullanıcıların mekanın ibadet gerçekleştirmeye uygunluğu konusundaki algılarını yansıtmaktadır. Şekil 2’de görülebileceği üzere, tüm akustik-dil kombinasyonları 4 medyan değerindedir, bu da ibadete uygunluğun yüksek algılandığını göstermektedir. ME sonuçlarında ise en düşük RT’ye sahip Türkçe dil kombinasyonu (T1.9_TR) en yüksek büyüklüğü almış, diğer koşullarda ise değerler biraz daha düşük kalmıştır.



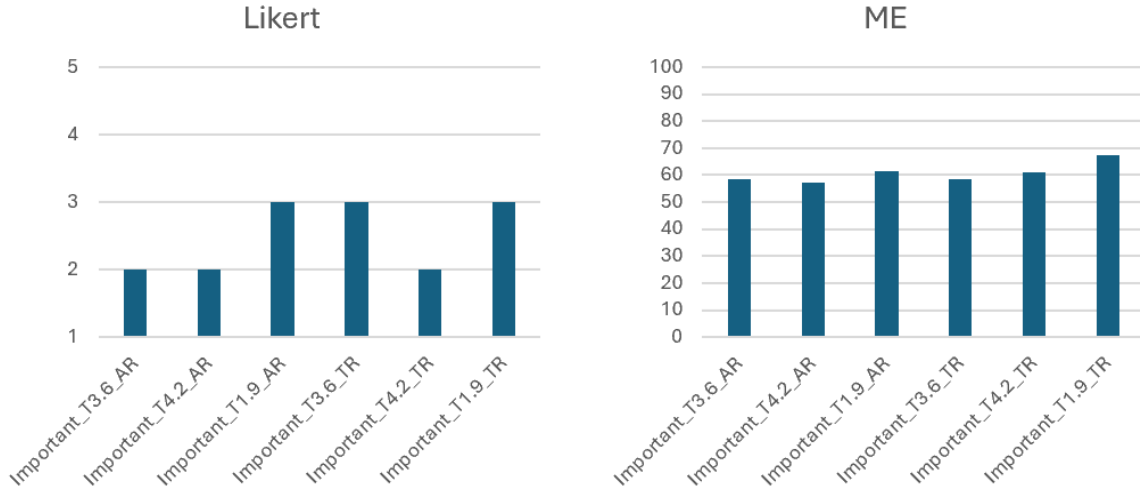
Şekil 3. 5’li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *kutsallık (sacred)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

Şekil 3, mekanın kutsallığının algılanmasına ilişkin elde edilen sonuçları göstermektedir. Altı akustik-dil kombinasyonundan dördü 4/katılıyorum medyan değeri almıştır. ME sonuçlarında ise tüm kombinasyonların yaklaşık 70/100 civarında oldukça benzer büyüklükler aldığı görülmektedir.



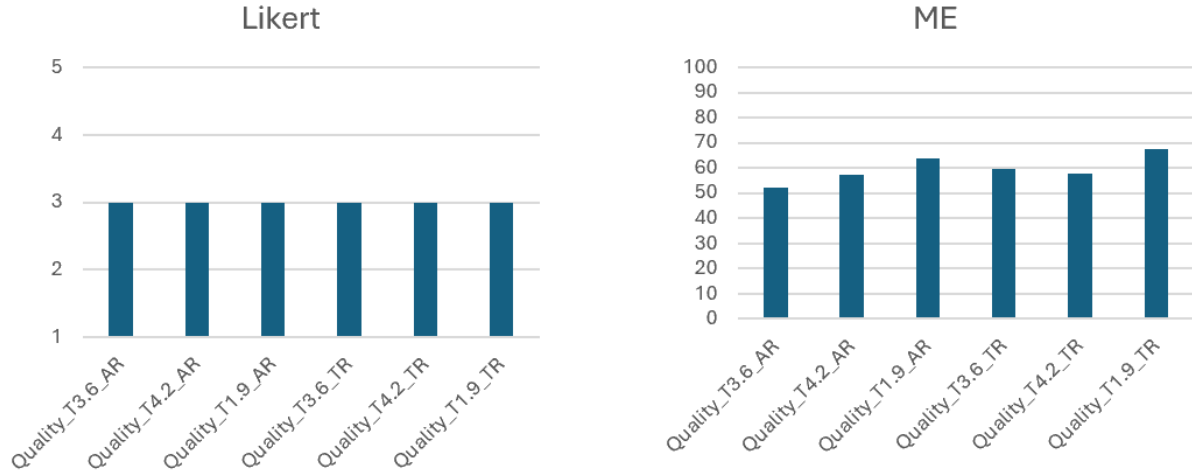
Şekil 4. 5’li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *uyanış (awakening)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

Şekil 4, mekana yönelik merak ve ilgiyi değerlendirmek için kullanılan uyanış (awakening) göstergesinin sonuçlarını sunmaktadır. Grafiklerden görülebileceği üzere, altı akustik-dil kombinasyonundan dördü 3/orta medyan değeri almıştır. En yüksek medyan, RT’nin 1.9 olduğu ve kullanılan dilin Türkçe olduğu durumda gözlenmiştir. ME sonuçlarında ise çoğu durum 50 ile 60/100 arasında algılanan büyüklüğe sahip olmakla birlikte, akustik-dil kombinasyonlarına göre farklılık göstermektedir. Likert ölçeği ile elde edilen aynı durumda (T1.9_TR) en yüksek büyüklük 60/100’ün üzerinde verilmiştir.



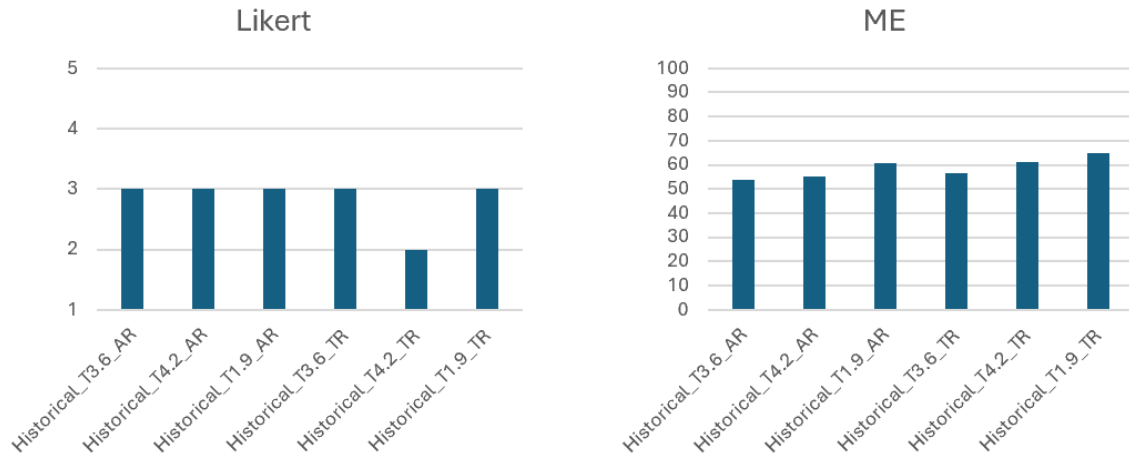
Şekil 5. 5’li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *önem (importance)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

Şekil 5, mekana verilen önemin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Tüm akustik-dil kombinasyonları 4 medyan değerinin altında kalmış, bu da düşük algılanan önemi göstermektedir. ME sonuçlarında ise 1.9s RT’ye sahip Türkçe dil kombinasyonu (T1.9_TR) en yüksek büyüklük tahmin değerini almış, diğer koşullarda ise değerler biraz daha düşük kalmıştır.



Şekil 6. 5'li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *Kalite (quality)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

Şekil 6, mekânın kalitesinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçları sunmaktadır (quality). Tüm kombinasyonlar 3/nötr medyan değeri almıştır. Ancak, ME sonuçları 1.9s RT değerinde her iki dilde de mekânın kalitesinin orta düzeyde yüksek algılandığını göstermektedir.



Şekil 7. 5'li Likert ölçeği ile ME sonuçlarının *Tarihsellik (historical)* göstergesi için karşılaştırılması (AR = Arapça; TR = Türkçe).

Şekil 7, mekânın tarihsel yönlerinin değerlendirilmesine ilişkin sonuçları göstermektedir (historical). Tüm akustik-dil kombinasyonları 3/nötr değerinin altında medyan almıştır. Çoğu durumda benzer bir desen gözlenirken, ME yönteminde (T4.2_TR) hariç tutularak 50/100'ün üzerinde büyüklük tahmin değeri elde edilmiştir. En yüksek büyüklük tahmin değeri, 1.9 RT değerinde Türkçe dil kombinasyonu için elde edilmiş ve bu da orta düzeyde yüksek bir değerlendirme olarak yansımıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, RT değerlerindeki değişimlerin ve dilin, tarihsel bir dini mekânın algılanmasına etkilerini incelemektedir. Ayrıca, kullanıcıların mekân deneyimlerine ilişkin algılarının değerlendirilmesinde farklı ölçeklerin duyarlılığını vurgulamak amacıyla iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, RT değerlerindeki değişimlerin tarihsel bir kutsal mekânın kullanıcı algısı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, konuşmanın farklı dillerde gerçekleştirilmesi de algı üzerinde birleşik bir etkiye sahip olmuştur.

RT değerlerinin kutsallık ve maneviyat duygusunu etkilediği önceki çalışmalarda belirtilmiştir [21–23]. Ayrıca, mekan kimliği veya mekana bağlılık gibi çeşitli göstergeler üzerinde doğrudan etkili bir faktör olduğu bulunmuştur [24]. Buna göre, RT değerlerinin değiştirilmesi, camide gerçekleştirilen dil dikkate alınarak, kabul edilebilir bir maneviyat ve anlaşılabilirlik düzeyine ulaşılmasını sağlayabilir.

Dilin etkileri ise henüz kapsamlı biçimde araştırılmamıştır. Kutsal mekanlar dışında da, ana dilde dinleme, dini mekanlardaki konuşma anlaşılabilirliği gibi dikkatle ilgili faaliyetleri artırabilmektedir [25]. Yabancı ve ana dilin aynı bağlamda birlikte kullanılması durumunda dikkatin daha da arttığı görülmektedir. RT ve dilin birleşik etkisi bir çalışmada incelenmiş [26] ve düşük RT değerlerinin yabancı dilin anlaşılabilirliğini olumlu yönde etkilediği bulunmuştur; ancak bu sonuçlar, kullanıcıların yabancı dil bilgisi düzeyine bağlıdır. Bir çalışmada caminin iki dilli bir mekan olarak incelendiği görülmektedir [4]. Bu çalışmada, çağdaş bir kutsal mekânda Arapça ve Türkçe olmak üzere iki dil, akustik simülasyon, auralizasyon ve kelime tanıma testleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma, mekan akustiğinin her iki dili de desteklemediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, sinyal-gürültü oranı azaldığında Türkçe dil anlaşılabilirliğinin Arapçaya göre daha hızlı düştüğü gözlenmiştir. Bu çalışma, mevcut araştırmaya benzer şekilde, kutsal mekanlarda çok dillilik deneyimini ele alan az sayıdaki çalışmadan biridir.

5’li Likert ölçeği ile ME yöntemi arasındaki karşılaştırma, ME’nin çevresel faktörlerdeki değişimlere Likert ölçeğine kıyasla daha yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, ME sonuçlarının senaryolar arasında daha homojen olduğu gözlenmiş, bu da mekanların akustik koşullarının kullanıcı algısı üzerindeki etkilerini değerlendirmede yeni bir yöntemin benimsenebileceğini göstermektedir [12].

Bu çalışmanın sonuçlarının, kutsal mekanlarda dil çeşitliliğine yönelik ilgiyi artırması beklenmektedir. Bu ilginin, mekanların kullanılan dillere bağlı olarak akustik gereksinimlerinin daha fazla araştırılmasına yol açacağı düşünülmektedir. Ayrıca, tarihsel dini mekanların deneyimini, özellikle VR ve kamusal kullanım amaçları için, akustik koşullar ile dil kombinasyonlarının algılanışını anlamak suretiyle, daha kabul edilebilir ve geliştirilmiş bir şekilde temsil etmede kullanılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Suárez R, Alonso A, Sendra JJ. Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba. *Appl Acoust* 2018;140:214–24. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.006>.
- [2] De Muynke J, Baltazar M, Monferran M, Voisenat C, Katz BFG. Ears of the past, an inquiry into the sonic memory of the acoustics of Notre-Dame before the fire of 2019. *J Cult Herit* 2022;56:130–7. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.06.006>.
- [3] Kitapci K, Galbrun L. Perceptual analysis of the speech intelligibility and soundscape of multilingual environments. *Appl Acoust* 2019;151:124–36. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.03.001>.
- [4] Alic E, Ozcevik Bilen A. Mosque as a bilingual space - An investigation on speech intelligibility in mosque acoustics using simulation techniques. *Arch Acoust* 2021;46:443–57. <https://doi.org/10.24425/aoa.2021.138131>.
- [5] Laplace J, Guastavino C. Evaluating the restorative potential of church buildings. *Internoise 2022 - 51st Int Congr Expo Noise Control Eng* 2022. https://doi.org/10.3397/in_2022_0758.
- [6] Matracchi P, Sadeghi habibabad A. Prioritizing the effect of “Light” in the religious places and environments with an emphasis on the sense of spirituality. *Ain Shams Eng J* 2022;13:101514. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.028>.
- [7] Zhang D, Kong C, Zhang M, Kang J. Religious Belief-Related Factors Enhance the Impact of Soundscapes in Han Chinese Buddhist Temples on Mental Health. *Front Psychol* 2022;12:1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.774689>.
- [8] Hill DR, Saroka KS. Sonic patterns, spirituality and brain function: The sound component of neurotheology. *NeuroQuantology* 2010;8:509–16.
- [9] Huang Y, Griffin MJ. Comparison of absolute magnitude estimation and relative magnitude estimation for judging the subjective intensity of noise and vibration. *Appl Acoust* 2014;77:82–8. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.10.003>.
- [10] Pashler H, Wixted J. *Stevens’ Handbook of Experimental Psychology 3rd Edition Volume 4: Methodology in Experimental Psychology*. John Wiley & Sons, Inc.; 2002.
- [11] ISO 11056. International Organization for Standardization - ISO 11056. *Int Organ Stand* 1999;ISO 11056:
- [12] Al-bayyar Z, Kitapci K. Effects of reverberation time and sound source composition on sense of place constructs. *Appl Acoust* 2022;185:108427.
- [13] Ellis GM, Zahorik P. Reverberation strength perceived by normal-hearing listeners predictable based on time-varying binaural loudness. *Hear Res* 2021;409:108316. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2021.108316>.
- [14] Ellis GM, Zahorik P. A dissociation between speech understanding and perceived reverberation. *Hear Res* 2019;379:52–8. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2019.04.015>.
- [15] Snow MP, Williges RC. Empirical models based on free-modulus magnitude estimation of perceived presence in virtual environments. *Hum Factors* 1998;40:386–402. <https://doi.org/10.1518/001872098779591395>.
- [16] Laplace J, Guastavino C. Exploring sonic experiences in church spaces: a psycholinguistic analysis. *Senses Soc* 2022;17:343–58.
- [17] Masullo M, Ozcevik Bilen A, Toma RA, Akin Güler G, Maffei L. The restorativeness of outdoor historical sites in urban areas: Physical and perceptual correlations. *Sustain* 2021;13. <https://doi.org/10.3390/su13105603>.
- [18] Mazloomi SM, Ariffin SI, Shahminan RNR. A comparative analysis of perceptual and demographic predictors of sense of place dimensions in the State Mosques of Malaysia. *Asian J Soc Psychol* 2014;17:128–40. <https://doi.org/10.1111/ajsp.12053>.

- [19] Li J, Luo J, Deng T, Tian J, Wang H. Exploring perceived restoration, landscape perception, and place attachment in historical districts: insights from diverse visitors. *Front Psychol* 2023;14:1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1156207>.
- [20] Masullo M, Toma RA, Maffei L. Further investigation on pockets of quiet within historical city centres: The case of widenings. *Proc INTER-NOISE 2021 - 2021 Int Congr Expo Noise Control Eng* 2021. <https://doi.org/10.3397/IN2021-2296>.
- [21] Debertolis P, Coimbra F, Eneix L. Archaeoacoustic Analysis of the Hal Saflieni Hypogeum in Malta. *J Anthropol Archaeol* 2015;3:59–79. <https://doi.org/10.15640/jaa.v3n1a4>.
- [22] Kitapci K, Çelik Başok G. The Acoustic Characterization of Worship Ambiance and Speech Intelligibility in Wooden Hypostyle Structures: The Case of the Aslanhane Mosque. *Acoust Aust* 2021;49:425–40. <https://doi.org/10.1007/s40857-021-00238-1>.
- [23] Adeeb AH, Gül ZS. Investigation of a Tuff Stone Church in Cappadocia via Acoustical Reconstruction. *Acoustics* 2022. <https://doi.org/10.3390/acoustics4020026>.
- [24] Al-bayyar Z, Kitapci K. An acoustic sense of place evaluation framework based on the room acoustic indicators. *Forum Acusticum Lyon 2020 8th Eur. Congr. Acoustics, Lyon: 2020*. <https://doi.org/10.48465/fa.2020.0788>.
- [25] Liang M, Gerwien J, Gutschalk A. A listening advantage for native speech is reflected by attention-related activity in auditory cortex. *Commun Biol* 2025;8. <https://doi.org/10.1038/s42003-025-07601-2>.
- [26] MacCutcheon D, Hurtig A, Pausch F, Hygge S, Fels J, Ljung R. Second language vocabulary level is related to benefits for second language listening comprehension under lower reverberation time conditions. *J Cogn Psychol* 2019;31:175–85. <https://doi.org/10.1080/20445911.2019.1575387>.

KOLEKTİF ÇALIŞMA ALANLARINDA SES ORTAMI VE KULLANICI DENEYİMİ

Dilara Kelle¹, Konca Şaher², Özge Üstündağ Ganiç³

¹⁻²Kadir Has Üniversitesi, Fatih, İstanbul, Türkiye
e-posta: dilara.kelle@khas.edu.tr, konca.saher@khas.edu.tr

³Kolektif House, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye
Tel: 212 924 24 10 e-posta: ozge.ustundag@kolektifhouse.co

ÖZET

Bu çalışmada, geleneksel açık planlı ofislerden farklı olarak, kullanıcı profili çeşitliliğiyle farklılaşan kolektif çalışma alanlarındaki akustik ortam incelenmiştir. GABO (Gêne Acoustique dans les Bureaux Ouvert) anketiyle öznel, kullanıcı gürültüsü ve ISO 3382-2'ye uygun reverberasyon süresi ölçümleriyle nesnel veriler elde edilmiştir. Bulgular ISO 22955:2021 standardı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kullanıcı gürültüsü düzeylerinin geleneksel açık planlı ofislerle benzer olmasına rağmen, gürültüye yönelik algı ve toleransın farklı olduğunu göstermiştir. Kolektif çalışma alanı kullanıcıları mekânsal esneklik ve ses düzeyine daha hoşgörülü yaklaşmakta, bu da iş birliği ve etkileşimi teşvik etmektedir. Ancak, gürültü rahatsızlığı ile odaklanma arasında negatif ve yüksek ilişki bulunmuş, işitsel ve görsel mahremiyet arasında ilişki görülmemiştir. Bu nedenle, kolektif çalışma alanlarına özgü yeni akustik tasarım kriterlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kolektif çalışma alanları, hacim akustiği, kullanıcı gürültüsü, gürültü hassasiyeti, hacim akustiği ölçümleri.

SOUND ENVIRONMENT AND USER EXPERIENCE IN SHARED WORKSPACES

ABSTRACT

In this study, the acoustic environment of collective workspaces—characterized by diverse and dynamic user profiles—was examined, differing from traditional open-plan offices. Subjective data were collected using the GABO (Gêne Acoustique dans les Bureaux Ouvert) questionnaire, while objective data were obtained through occupants' noise level and reverberation time measurements in accordance with ISO 3382-3. Findings were compared with ISO 22955:2021. Results indicated that although user noise levels were similar to traditional open-plan offices, users' perceptions and tolerance differed. Users of shared workspaces tend to show greater tolerance regarding spatial flexibility and sound levels, depending on their noise sensitivity, fostering collaboration and interaction. However, expectations regarding speech privacy and comfort do not align with current standards. Therefore, new acoustic design criteria tailored to collective workspaces are needed to better meet user expectations..

Keywords: Collective workspaces, room acoustics, user-generated noise, noise sensitivity, room acoustic measurements.

1. GİRİŞ

Artan maliyetler, dijitalleşme ve hareketliliğin artışı, modern çalışma dinamiklerini yeniden şekillendirirken, ortak çalışma alanları (kolektif çalışma alanları) özellikle genç kuşak için uygun maliyetli, esnek ve iletişim ağı oluşturulabilecek ya da mevcutta olan ağlara bağlanılabilecek ortamlar sunarak profesyonellerin gelişmesini, iş birliği ve yeniliği teşvik etmesini sağlayan temel mekânlar hâline gelmiştir [1]. Çeşitli araştırmalar ortak çalışma alanlarının üretkenliği artırdığını [2], bilgi paylaşımını teşvik ettiğini ve sosyal destek kaynağı olarak işlev gördüğünü; dolayısıyla kullanıcıların iş kalitesi ve memnuniyetini artırdığını göstermektedir [3]. Ortak çalışma alanları, geleneksel açık planlı çalışma ortamlarından farklılık göstermekte olup, başlıca farklar ve bu farkların akustik açıdan olası etkileri; kullanıcı sayısı, davranış ve sosyal etkileşim, iş kültürü, gürültü ve dikkat dağıtıcı unsurlar, mekân kullanımı, maliyet ve erişilebilirlik parametreleri göz önüne alınarak Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Geleneksel açık plan ofisler ile ortak çalışma alanlarının koşulları ve akustik çevre üzerindeki etkileri bakımından karşılaştırılması

	Açık Plan Ofis	Kolektif Çalışma Alanı
Kullanıcı Sayısı	Belirli bir şirkete ait çalışanlar Gün içinde sabit Hafta boyunca sabit	Farklı şirketlerden bireyler Gün içinde dinamik Hafta boyunca dinamik
Davranış ve Sosyal Etkileşim	Aynı ekiplerde çalışma Sınırlı sosyal etkileşim Resmî iletişim eğilimleri	Farklı sektörlerden kişiler birlikte çalışır Yüksek etkileşim fırsatları Çeşitlilik iş birliğini teşvik eder
İş Kültürü	Kurumsal yapı mevcuttur Şirketin değerleri, vizyonu ve kültürü hâkimdir	Bireyler kendi işlerini yönetir Bireysel önceliklendirme ve öz motivasyon
Mekân Kullanımı	Daha fazla kapalı alan içerir Düzen, çalışan sayısına göre planlanır Çalışma alanları arasında net bir ayrım vardır	Açık çalışma ve sosyal alanlar içerir Esneklik gerektirir Alanlar birbirine geçişlidir
Maliyet ve Erişilebilirlik	Çalışanlar maliyetle direkt ilgili değildir Belirli bir çalışma zamanı programı vardır	Günlük, haftalık veya aylık üyelikler Kullanıcı ihtiyacına göre esnek çalışma saatleri
Olası Akustik Sonuçlar	Gün boyunca homojen gürültü seviyesi Hafta boyunca homojen gürültü seviyesi Daha az değişkenlik dikkat dağılmasını azaltır	Gün boyunca yüksek gürültü çeşitliliği Hafta boyunca yüksek gürültü çeşitliliği Çeşitlilik daha fazla dikkat dağıtır

Kolektif çalışma alanlarının giderek yaygınlaşmasına rağmen, bu mekânların akustik özelliklerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hâlâ sınırlıdır. Geleneksel açık planlı ofisler üzerine yapılan araştırmalar, paylaşımlı çalışma alanlarının genellikle daha yüksek gürültü düzeylerine ve kullanıcıların daha fazla gürültü toleransına sahip olduğunu göstermektedir [4]. Bu bağlamdan yola çıkarak, bu çalışma paylaşımlı masa düzenine sahip kolektif akustik özelliklerini incelemeyi ve bunların geleneksel açık plan ofislerle nasıl karşılaştırılabileceğini araştırmayı amaçlamaktadır.

Çalışma alanlarının irdelenmesine ve düzenlenmesine ilişkin standartlar ve yönetmelikler incelendiğinde hacim akustiğine ilişkin ayrı bir çalışma olmamakla beraber Binaların Gürültüye Karşı Korunumu Hakkında Yönetmelik’te [4] açık planlı ofisler için Reverberasyon Süresi (RT) 1 s olarak tanımlanmıştır. Bununla beraber en güncel kaynak olarak ISO 22955:2021 “Acoustics — Acoustic quality of open office spaces — Part 1: Criteria and measurement methods”da [5] açık planlı çalışma alanlarının eylemlere göre bağlı olarak farklı tiyolojilere ayrıldığı görülmektedir. Buradaki tanımlanan değerler ise Tablo 2’de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Ortak çalışma alanları ile ilgili ISO 22955:2021’de belirtilen optimum değerler

Akustik Kriterler					
Mekan kategorisi	Açıklama	Arka Plan Gürültü Düzeyi (LAeq,T, dB)	Reverberasyon Süresi (RT,s)	Mekansal Azalım Oranı (D2,S)	4 m'de A Ağırlıklı Ses Basınç Düzeyi (Lp,A,S,4 m,dB)
Mekan Tip 1	Eğer eylem bilinmiyorsa	38 dB ²	Eş yutuculuk alanı için kriter tanımlanmıştır. A / S zemin alanı ≥ 0.9		
Mekan Tip 2	Eylemlerin esas olarak oda dışıyla iletişime (telefon/ses/görüntü yoluyla) odaklandığı alan.	≤ 55 dB ³	$T \leq 0,5$ s ¹ $T \leq 0,8$ s (125 Hz)	≥ 7 dB	≤ 47 dB
Mekan Tip 3	Eylemin esas olarak en yakın çalışma istasyonlarındaki kişiler arasındaki iş birliğine dayandığı alan.	≤ 55 dB ³	$T \leq 0,5$ s ¹ $T \leq 0,8$ s (125 Hz)	≥ 8 dB	≤ 48 dB
Mekan Tip 4	Eylemin esas olarak az miktarda ortak (iş birliğine dayalı) çalışmaya dayandığı alan.	≤ 48 dB ³	$T \leq 0,5$ s ¹ $T \leq 0,8$ s (125 Hz)	≥ 7 dB	≤ 47 dB
Mekan Tip 5	Kamuya hizmet verme veya dışarıdan ziyaretçi kabul etme eylemlerini içerebilen alan.	≤ 55 dB ³	$T \leq 0,5$ s ¹ $T \leq 1$ s (125 Hz)		
Mekan Tip 6	Aynı mekân içinde birden fazla faaliyetin bir arada yürütüldüğü alan	Mekansal esneklikten dolayı akustik kriterler için belirli değerler tanımlanmamıştır. Eyleme bağlı olarak eğerler verilmiştir.			

¹ 125 - 4000 Hz bantları arası aritmetik ortalama alınarak hesaplanır.

² Reverberasyon kontrolü var ise

³ Eylem sırasındaki arka plan gürültü düzeyi

Kolektif çalışma alanlarının, kullanıcı gruplarının çeşitliliği ve geçici kullanım yapıları nedeniyle akustik açıdan daha dinamik olduğu öngörülmektedir. Ancak bu farklılıkların kullanıcı gürültüsü düzeylerinde ölçülebilir değişimlere yol açıp açmadığına dair ampirik kanıtlar sınırlıdır. Bu boşluğu gidermek amacıyla çalışma, kullanıcı gürültüsü düzeylerinin (LAeq) nesnel ölçümleri ile kullanıcı anketlerinden elde edilen öznel değerlendirmeleri bir araya getiren karma yöntemli bir yaklaşım benimsemektedir. Bu yöntem hem fiziksel akustik çevrenin hem de kullanıcı deneyimlerinin bütüncül olarak değerlendirilmesine olanak tanımakta ve kolektif çalışma alanlarının özgün niteliklerinin akustik konfor ile algılanan üretkenlik üzerindeki etkilerine ilişkin önemli içgörüler sunmaktadır.

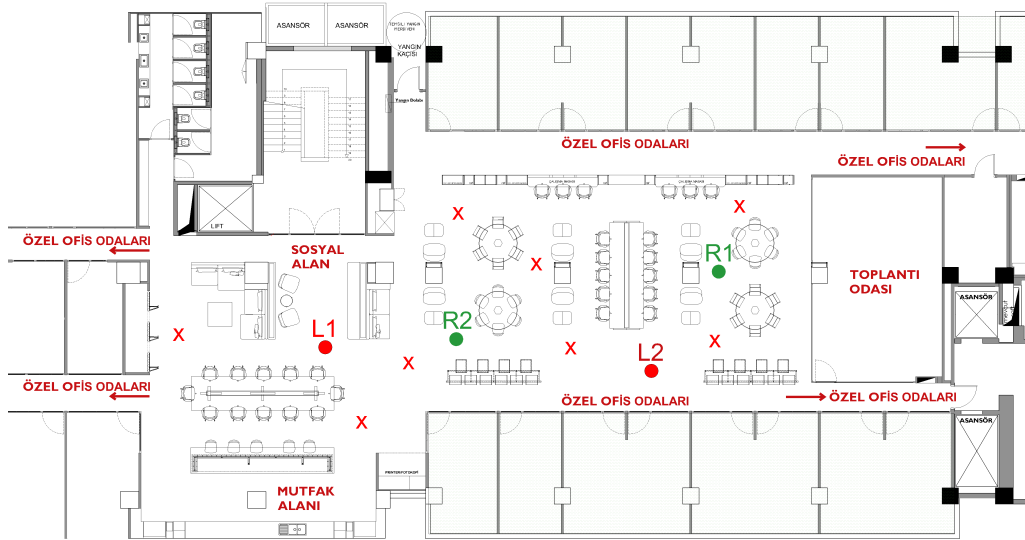
Bu çalışma, örneklem olarak seçilen bir kolektif çalışma alanında gerçekleştirilen kullanıcı gürültüsü düzeyi (LAeq) ölçümleri ve kullanıcılarla yapılan anketlerden elde edilen ön bulguları sunmakta olup hem nesnel koşullara hem de öznel deneyimlere odaklanmaktadır. Araştırmayı yönlendiren sorular aşağıdaki gibidir:

- Çalışılan kolektif çalışma alanındaki ortam gürültü düzeyleri nedir ve geleneksel açık plan ofislerdeki gürültü düzeylerinden nasıl farklılaşmaktadır?
- Bu mekânda kullanıcı gürültüsü düzeyi ile gürültü rahatsızlığı arasındaki ilişki nedir?
- Bu mekânlarda gürültüye hassasiyet ile rahatsızlık arasındaki ilişki nedir?
- Bu mekanlarda mahremiyet talebi ve odaklanma imkânı nasıl değişmektedir?

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma alanı

İncelenen çalışma alanı, merkezi bir bölgede yer alan eski bir tekstil fabrikasının dönüştürülmesiyle oluşturulmuş bir ortak çalışma alanı ve ofis yapısıdır. Yeniden işlevlendirme sürecinde mimarın yapının endüstriyel karakterini ve ham yüzeylerini vurgulama isteği doğrultusunda, tasarımda yüzeylerin betonarme üzeri sıva uygulanarak bırakıldığı görülür. Reverberasyon veya gürültü kontrolü amacıyla herhangi bir yüzey kaplaması veya ses yutucu bir malzeme uygulanmamıştır. Kolektif çalışma alanının plan şeması (Şekil 1), üst üste binen mekânsal bir organizasyon ortaya koymaktadır. Mekâna girişte, ilk bölümde bir dinlenme ve etkileşim alanı (lounge), mutfak ve çalışma alanı yer almaktadır. Bu bölümde ayrıca özel görüşmeler ve odaklı tartışmalar yapılabilmesi için tasarlanmış izole kabinler bulunmaktadır. Ana çalışma alanı, merkezî bir çalışma alanının etrafında konumlanan özel ofis alanları ve toplantı odalarından oluşmaktadır. Özel ofisler ile merkezî çalışma alanı arasındaki sirkülasyon alanları, kısmen yarı açık ayırıcı-depolama üniteleriyle birbirinden ayrılmıştır; bu da belirli bir mekânsal ayrışma sağlamaktadır. Kullanıcılar arasında ekip çalışmasını ve etkileşimi desteklemek amacıyla grup odaklı masa düzenleri tercih edilmiştir. Alan, toplamda 82 kullanıcı için tasarlanmış olup, yaklaşık 340 m² açık plan alana ve 3,4 m tavan yüksekliğine sahiptir. ISO 22955:2021 [5] standardına göre, önerilen alan kişi başına 10 m²'dir; bu durumda mevcut kullanım, önerilen standarttan daha düşüktür. Ancak, ticari kullanımlarda doluluk oranlarının önemli ölçüde değişkenlik göstermesi ve tam doluluk (3/3) durumunun nadir olması nedeniyle bu fark doğrudan uygulanabilir olamamaktadır.

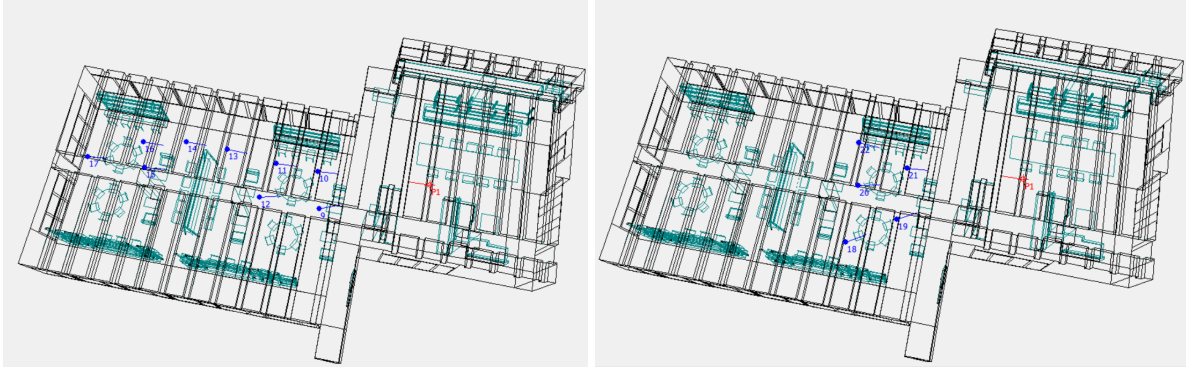


Şekil 1. Çalışma alanı kat planı, Reverberasyon süresi ölçümü (L1 ve L2) alıcı ve kaynak noktaları, kullanıcı gürültüsü ölçüm noktaları (R1 ve R2)

2.2. Reverberasyon süresi ölçümleri ve simülasyon çalışması

ISO 3382-2 (Oda akustiği parametrelerinin ölçülmesi – Ofisler, sınıflar gibi normal odalar) [6] standartlarına uygun olarak hacim akustiği performansı değerlendirilmiştir. Ölçümler, Nor283 çok yönlü ses kaynağı kullanılarak ve pembe gürültü sinyali yayımıyla gerçekleştirilmiştir. L1 ve L2 olarak iki farklı kaynak konumunda ve sekiz alıcı noktasında

ölçümler yapılmıştır. Hoparlör sistemi 1,5m yükseklikte, mikrofonlar ise 1,2 m yükseklikte konumlandırılmıştır. Kaynak ve alıcı noktaları, hacim içindeki ses alanının homojenliğini temsil edecek biçimde konumlandırılmıştır (Şekil 1). Aynı zamanda ODEON 12 simülasyon programında, model ölçüm sonuçları ile kalibre edilmiş ve STI değerleri hesaplanmıştır. STI değeri hesaplanırken arka plan gürültü düzeyi için, ölçülen arka plan gürültü düzeyine uygun olarak NC 50 eğrisi kabul edilmiştir. Alıcı noktaları, kaynak yerleşimi ve model ortamı Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Odeon model ortamı ve STI hesabı için yerleştirilen alıcı ve kaynak noktaları

2.3. Kullanıcı gürültüsü ölçümleri

Çalışma alanındaki kullanıcıların gürültü düzeyleri, çalışma saatlerindeki tipik akustik koşulları yakalamak amacıyla ölçülmüştür. Ölçümler, iki ayrı gün ve 11:00 ve 16:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Amaç, bireyler arasındaki konuşmalar, telefon-video görüşmelerinden kaynaklanan arka plan gürültüsü gibi normal ofis aktiviteleri sırasında mevcut gürültüyü değerlendirmektir. Tüm ölçümler PCE-430 ses düzeyi ölçer ile yapılmış ve sonuçlar A-ağırlıklı eşdeğer sürekli ses basıncı düzeyi (L_{Aeq}) ve A-ağırlıklı en yüksek ses basıncı düzeyi (L_{Amax}) olarak ifade edilmiştir. Her bir ses düzeyi ölçümü 10 dakikalık ölçümler olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrofonlar 1,5 m yükseklikte konumlandırılmış ve detaylı ölçümler için R1 ve R2 olmak üzere iki ana nokta seçilmiştir (Şekil 1). Ölçümler sırasında, mekanın doluluk oranı yaklaşık 1/3 ile 2/3 arasında değişmiş olup, bu durum kullanıcıların dinamik olarak alana yerleşmelerinden kaynaklanmaktadır.

2.4. Anket çalışması

Bu çalışmada, açık ofislerin öznel değerlendirmesinde kullanılacak anketler için temel çerçeve olarak ISO 22955:2021 [5] standardında belirtilen Gène Acoustique dans les Bureaux Ouverts (GABO) anketi kullanılmıştır. GABO anketinin ilk bölümü yaş ve cinsiyet gibi demografik bilgileri içermektedir. Bunu, akustik olmayan koşulları da kapsayan genel çevre ile ilgili soruların yer aldığı bölüm izlemektedir. Ardından, anket ses ortamı, gürültü duyarlılığı ve genel sağlık ile ilgili sorular içermektedir. Buna ek olarak, çalışmada NASA İş Yüğü Değerlendirme Ölçeği (Task Load Index-TLX) ölçeği [7] de kullanılmıştır. Bu beş öğeden oluşan ölçek, katılımcıların zihinsel talep, zaman baskısı, performans ve harcanan çaba değişkenlerine göre algıladıkları iş yükünü değerlendirmektedir. Çalışmaya toplam 22 katılımcı gönüllülük esasına dayalı olarak ve rastgele seçilerek dahil edilmiştir. Katılımcıların çoğu 25–34 yaş aralığında (%55,6) yer alırken, 18–24 yaş grubundakiler %18,5 ve 34–44 yaş grubundakiler %25,9 oranındadır. Bu durum, söz konusu ortak çalışma alanının daha genç bir kullanıcı kitlesini çektiğini göstermektedir. Ayrıca veriler, bu ortak çalışma alanının yalnızca

freelance veya bağımsız çalışanlar tarafından kullanılmadığını, çünkü katılımcıların %81,5'inin tam zamanlı çalışanlardan oluştuğunu ortaya koymaktadır. Akustik ortama ilişkin kullanıcı deneyimlerini değerlendirmek amacıyla yapılan anket çalışmaları, SPSS programı [8] kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, ölçümler ve simülasyon çalışmasından elde edilen nesnel veriler ile ISO 22955:2021 [5] standardında belirtilen optimum değerlerle karşılaştırılarak kullanıcı deneyimine dair çıkarımlar yapılmıştır.

3. AKUSTİK ORTAMA İLİŞKİN BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Kullanıcı gürültü düzeyleri

Ofis içerisindeki sonuçlar A-ağırlıklı eşdeğer sürekli ses basıncı düzeyi (LAeq), çalışma saatleri boyunca (08:00–20:00) 50,76 dB ile 55,44 dB arasında değişmiştir. Buna karşılık, A-ağırlıklı en yüksek ses basıncı düzeyi (LAm_{ax}) 65,74 dB ile 72,95 dB arasında gözlenmiştir. Tablo 3, ortak çalışma alanındaki her konumda gerçekleştirilen ölçüm sayısını özetlemektedir. Ancak, verilen değerler 1/3 ile 2/3 arası değişen doluluk oranı ile ölçülmüştür; bu nedenle ölçülen seviyeler, Yadav ve arkadaşları [9] tarafından 43 modern açık ofiste yapılan ve tipik çalışma saatlerinde elde edilen ölçümlere kıyasla daha yüksektir. Yadav ve arkadaşları [9], modern açık ofislerde ortam gürültüsü seviyelerinin (LAeq) tipik olarak 48–59 dB aralığında, ortalama olarak 53–54 dB civarında olduğunu ve farklı ofis boyutları ve düzenleri arasında tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Son yirmi yılda yapılan diğer çalışmalar da açık ofislerdeki ortam gürültüsü seviyelerine ilişkin benzer bulgular rapor etmiştir ve Yadav ve arkadaşlarının ölçümleriyle yakınlık göstermektedir. Örneğin, Lenne ve arkadaşları [10] 12 açık ofiste LAeq değerlerini 46,7–62,3 dB arasında ve ortalama 53,7 dB olarak raporlamıştır. Benzer şekilde, Moreland [11] LAeq değerlerini 51–53 dB civarında, maksimum değeri ise 53 dB olarak gözlemlemiştir. Fransız bağlamında, Pierrette ve arkadaşları [12] ortalama gürültü seviyelerini 50–56 dB LAeq arasında bulmuş ve bu değerleri, kullanıcıların akustik konfor algısındaki farklılıklarla ilişkilendirmiştir. Öte yandan, ISO 22955:2021 [5] standardı, işbirlikçi amaçlarla çalışma istasyonu gürültüsünü 48 dBA ile sınırlandırmaktadır. Geleneksel açık ofislerden farklı olarak, ortak masa düzenine sahip açık ofisler, kullanıcı profillerinin çeşitliliği ve dinamik yapısı nedeniyle daha yüksek ortam gürültü seviyeleri sergilemiştir. Ölçülen LAeq değerleri, geleneksel ofis ortamlarında bildirilen değerlerin üzerinde olup, kullanıcı çeşitliliği ve değişken doluluk oranlarının gürültü seviyelerini artırabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu sonucun sadece iki günlük sınırlı ölçüm süresinden kaynaklanabileceği ve akustik koşullardaki değişkenliği tam olarak yansıtmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 3. Kullanıcı gürültüsü zamana bağlı değişen bağlı LAeq ve L_Fmax değerleri

Ölçüm Numarası	Ölçüm Zamanı	LAeq	L _F max
R1.2	5/11/2024 11:15	52.8	69.2
R1.3	5/11/2024 11:28	55.2	73.2
R1.4	5/11/2024 11:39	51.9	73.4
R1.9	5/11/2024 14:43	52.9	69.4
R1.10	5/11/2024 14:53	55.4	70.0
R1.11	5/11/2024 15:03	51.9	70.9
R1 Ortalama		53.58	71.35
R2.5	5/11/2024 13:50	55.42	70.41
R2.6	5/11/2024 14:04	53.56	68.60
R2.7	5/11/2024 14:14	54.30	73.29
R2.13	5/11/2024 15:34	55.90	73.10

R2.14	5/11/2024 15:44	54.45	73.35
R2.15	5/11/2024 15:55	57.69	68.73
R2 Ortalama		55.44	71.72
R2.1	11/12/2024 11:18	54.15	75.62
R2.2	11/12/2024 11:32	54.0	71.6
R2.3	11/12/2024 11:45	54.0	69.2
R2 Ortalama		54.03	72.95
R1.5	11/12/2024 12:11	51.3	67.0
R1.6	11/12/2024 12:24	50.16	63.90
R1 Ortalama		50.76	65.74

3.2. Reverberasyon süresi değerleri ve STI değerlendirilmesi

Ölçüm sonuçlarına göre $T_{30,125\text{Hz}}$ değeri 8 alıcı noktası ortalamasında 1,37 s, $T_{\text{ort } 250-4000\text{Hz}}$ ise 1,11 s olarak ölçülmüştür. ISO 22955:2021’de ortak çalışma içeren mekan tipolojisinde $T_{125\text{Hz}}$ için 0,8s, $T_{\text{ort } 250-4000\text{Hz}}$ ise 0,5 s tavsiye edilmektedir. Buna göre, reverberasyon sürelerinin standartta tanımlanan değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Simülasyon yöntemi ile sesin dağılımına bakıldığında, 4 m’de A ağırlıklı ses basınç düzeyi ($L_p, A, S, 4$ m) 55,69 dB olarak hesaplanmıştır. Yönetmeliğe göre ise bu değerin, ortak çalışma alanları için 48 dB’nin altında olması tavsiye edilir. Mekânsal azalım oranı (Spatial Decay Rate, D2,S) 2,65 dB olarak hesaplanmıştır. Yönetmelikte ise bu değerin 8 dB’nin üzerinde olması gerekmektedir. Kullanıcılar arasında herhangi bir bölücü eleman veya separasyon bulunmaması nedeniyle azalım oranı oldukça düşük çıkmıştır. ISO 3382-3’te [13] dikkat dağılım mesafesi (rD), STI değerinin 0,5 olduğu; mahremiyet mesafesi (rP) ise STI’nin 0,2 olduğu konum mesafeleri olarak tanımlanmaktadır. İyi bir ofis ortamı için $rD \leq 5$ m olarak önerilmektedir, ancak ISO 22955’te bu değerler tanımlanmamıştır. Hesaplamalarda en yakın noktada STI değerinin 0,35 olduğu görülmüştür. Dolayısıyla rD hesaplanamamış, ancak oldukça kısa olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen kullanıcı gürültü düzeylerine bağlı olarak arka plan gürültü düzeyinin günlere ve gün içindeki saatlere bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu nedenle, bu mesafelerin de değişkenliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.3. Akustik ortamdaki ses kaynaklarının değerlendirilmesi

Katılımcılardan, gün boyunca duydukları ses kaynaklarını altı farklı tür arasında sıralamaları istenmiştir: mekanik gürültüler, çalan telefonlar, geçen insanlar, belirli bir kişinin faaliyet sesleri, tüm kullanıcıların faaliyet sesleri, anlaşılabilir konuşmalar ve anlaşılabilir olmayan konuşmalar. Bu ses kaynaklarının algılanan öncelik farklarını değerlendirmek için Friedman testi uygulanmış ve sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir ($\chi^2 = 37.823$, $df = 6$, $p < 0.001$). Ortalama sıralama değerleri, anlaşılabilir konuşmaların en baskın ses kaynağı olduğunu göstermiştir (Mean Rank = 5.75), bunu sırasıyla tek bir kişinin faaliyet sesleri (Mean Rank = 4.64) ve çalan telefonlar (Mean Rank = 4.36) takip etmiştir. Orta düzeyde baskın olanlar anlaşılabilir olmayan konuşmalar (Mean Rank = 4.18) ve tüm kullanıcıların faaliyet sesleri (Mean Rank = 3.93) iken, geçen insanlar (Mean Rank = 2.77) ve mekanik gürültüler (Mean Rank = 2.36) en az fark edilen ses kaynakları olmuştur. Bu sonuçlar, ses kaynakları arasındaki sıralama farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamakta ve anlaşılabilir konuşmaların çalışma alanında en baskın gürültü kaynağı olarak algılandığını ortaya koymaktadır. Çalışma alanları arasında bölücü eleman ya da yutucu yüzey bulunmadığından, rahatsız edici seslerin özellikle yakından geldiği ve bu tür seslerin en fazla rahatsızlığa neden olduğu görülmektedir.

3.4. Akustik ortam ve algılanan iş yükü ilişkisi

Analizler, gürültü rahatsızlığı düzeyi ile çalışma alanında algılanan gürültü seviyesi arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu ortaya koymuştur ($r_s = 0.86$, $p < 0.01$), bu bulgu Pierrette ve arkadaşlarının [12] çalışmasıyla uyumludur. Sonuçlar ayrıca zihinsel zorluk, ivedilik, harcanan çaba ve stres düzeyi arasında anlamlı pozitif korelasyonlar olduğunu göstermektedir. Özellikle, zihinsel zorluk çabayla ($r = 0.464$, $p = 0.030$) ve stres düzeyiyle ($r = 0.543$, $p = 0.009$) anlamlı şekilde ilişkilidir; bu, bir görevin zihinsel zorluğu arttıkça hem gereken çabanın hem de algılanan stres düzeyinin arttığını göstermektedir. Benzer şekilde, ivedilik de çaba ($r = 0.449$, $p = 0.036$) ve stres düzeyi ($r = 0.570$, $p = 0.006$) ile anlamlı pozitif ilişkiler göstermektedir; yani daha acil görevler daha fazla çaba gerektirmekte ve daha yüksek stres düzeyine yol açmaktadır. Buna karşın, çalışma alanındaki gürültü rahatsızlığı diğer değişkenlerle anlamlı bir korelasyon göstermemiştir; korelasyon katsayıları -0.239 ile 0.074 arasında değişmekte ve p değerleri 0.05 'in üzerinde ($p = 0.283$ – $p = 0.745$) bulunmuştur. Bu durum, bu örnekleme gürültü rahatsızlığının zihinsel zorluk, ivedilik, görev memnuniyeti, çaba veya stres düzeyini anlamlı şekilde etkilemediğini göstermektedir. Bu bulgu, bireysel adaptasyon, ortak çalışma ortamlarında daha yüksek tolerans düzeyleri veya işlerin işitsel dikkat dağılmasına daha az duyarlı olması gibi nedenlerden kaynaklanıyor olabilir. Ancak, bu eğilimi doğrulamak için daha büyük bir örneklem ve farklı görev türleri ile mekânlarda ileri araştırmalar yapılması gerekmektedir.

3.5. Kullanıcı hassasiyeti ve akustik ortamın algısı arasındaki ilişki

Sonuçlar, çalışma alanındaki gürültünün ne kadar rahatsız edici olduğuyla, görevleri tamamlamak için sessiz bir ortama duyulan ihtiyaç arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Spearman's rho korelasyon katsayısı 0.512 ($p = 0.015$) olup, orta düzeyde pozitif bir ilişkiyi işaret etmektedir. Bu, algılanan gürültü rahatsızlığı arttıkça, görevleri tamamlamak için sessiz bir ortama duyulan ihtiyacın da arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, bazı katılımcılar gürültülü koşullarda bile uyuyabildiklerini veya görevlerini sürdürebildiklerini belirtmiş olup, bu durum gürültüye adaptasyonda bireysel farklılıkların olduğunu göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, çalışma alanındaki gürültüyü rahatsız edici bulan bireylerin, günlük seslere karşı daha duyarlı olduklarını ve çalışma ya da uyumak için sessiz bir ortama olan ihtiyacın daha yüksek olduğunu da ortaya koymaktadır.

3.6. Kullanıcı mahremiyeti ve odaklanma imkânı ile akustik ortam arasındaki ilişki

Spearman korelasyon analizine göre çalışma alanında gürültü yüksekliği ile gürültünün rahatsız ediciliği arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır ($\rho = .830$, $p < .001$). Gürültü algısı arttıkça rahatsızlık düzeyi de belirgin biçimde yükselmektedir. Ayrıca gürültü yüksekliği ile odaklanma imkânı arasında güçlü ve negatif bir ilişki gözlenmiştir ($\rho = -.628$, $p < .001$); bu sonuç, artan gürültünün çalışanların odaklanma becerisini azalttığını göstermektedir. Benzer biçimde, rahatsızlık düzeyi ile odaklanma imkânı arasında da negatif ve anlamlı bir ilişki vardır ($\rho = -.718$, $p < .001$). Buna karşın, işitsel mahremiyet ve ekran mahremiyeti değişkenleri ile gürültü düzeyi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu durum, mahremiyet algısının gürültü yüksekliğinden bağımsız olarak değerlendirildiğini göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, kolektif çalışma alanlarının akustik özelliklerini, nesnel gürültü ölçümleri (LAeq) ile kullanıcı anketlerinden elde edilen öznel değerlendirmeleri birleştirerek incelemektir. Örnek olarak seçilen bir kolektif çalışma alanında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular, kolektif çalışma alanlarındaki ortam gürültüsü düzeylerinin, geleneksel açık ofislerde rapor edilen düzeylerden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, kullanıcı çeşitliliği ve esnek doluluk düzenlerinin gürültü seviyelerini artırabileceğini düşündürmekle birlikte, yalnızca iki günlük sınırlı ölçüm süresi nedeniyle bu bulguların dikkatle yorumlanması gerekmektedir. Öne çıkan önemli bir bulgu, anlaşılabilir konuşmaların en baskın ve rahatsız edici gürültü kaynağı olarak öne çıkmasıdır; bu da akustik konfor üzerindeki etkisinin önemini pekiştirmektedir. Ayrıca, algılanan gürültü düzeyi ile rahatsızlık düzeyi arasında gözlemlenen güçlü korelasyon, işyeri gürültüsü rahatsızlıklarında öznel algının rolünü vurgulamaktadır. Ancak gürültü rahatsızlığı, stres, yorgunluk veya harcanan çaba gibi algılanan iş yükü ile ilgili faktörlerle anlamlı bir ilişki göstermemiştir. Bu durum, ortak çalışma ortamlarındaki bireylerin zamanla gürültüye uyum sağladığını, işitsel dikkat dağınıklarına karşı daha yüksek tolerans geliştirdiğini veya arka plan gürültüsünden daha az etkilenen görevler yürüttüğünü gösterebilir. Bulgular, çalışma alanında yüksek gürültü düzeylerinin kullanıcı konforu ve odaklanmayı olumsuz etkilediğini, ancak mahremiyet toleransının görece yüksek olduğunu ve bu algının gürültüden bağımsız biçimde değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Bu ön bulgular, ISO 22955:2021 gibi geleneksel akustik standartların, ortak masa düzenine sahip ofisler bağlamında yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Standart, ortak çalışma alanları gürültüsü için 48 dBA sınırı belirlerken, yüksek dinamik doluluk gösteren ortak çalışma alanları için uygulanabilirliği belirsiz kalmaktadır. Bu nedenle, daha uzun gözlem süreleri ve daha geniş katılımcı gruplarıyla yapılacak ileri araştırmalar, paylaşımlı açık ofislerin benzersiz dinamiklerini daha iyi yansıtan özelleştirilmiş akustik rehberlerin geliştirilmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] N. Mitev, F.-X. de Vaujany, P. Laniray, A. Bohas, ve J. Fabbri, “Co-working spaces, collaborative practices and entrepreneurship”, içinde Collaboration in the Digital Age, SpringerVerlag, 2018.
- [2] S. Bueno, G. Rodríguez-Baltanás, ve M. D. Gallego, “Coworking spaces: a new way of achieving productivity”, JFM, c. 16, sy 4, ss. 452-466, 2018, doi: 10.1108/JFM-01-2018-0006.
- [3] M. Weijs-Perrée, van de Koevinger ,Jasper, Appel-Meulenbroek ,Rianne, ve T. and Arentze, “Analysing user preferences for co-working space characteristics”, Building Research & Information, c. 47, sy 5, ss. 534-548, 2019, doi: 10.1080/09613218.2018.1463750.
- [4] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, Sayı 30082., 2017. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-2.htm>
- [5] International Standard Organization, ISO 22955:2021 Acoustics — Acoustic Quality of Open Office Spaces, 13.140 91.120.20, 2021.
- [6] European Standards, “ISO 3382-2:2008 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms”, 2021. Erişim: 22 Ekim 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.en-standard.eu/une-en-iso-3382-2-2008-acoustics-measurement-of-room-acoustic-parameters-part-2-reverberation-time-in-ordinary-rooms-iso-3382-2-2008/>
- [7] Sandra G. Hart ve Lowell E. Staveland, “Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research”, içinde Human Mental Workload, Amsterdam: North-Holland, 1988, ss. 139-183.
- [8] C. R. Mehta ve N. R. Patel, IBM SPSS Exact Tests. SPSS Inc. 1989, 2010, 2010.
- [9] M. Yadav, D. Cabrera, J. Kim, J. Fels, ve R. de Dear, “Sound in occupied open-plan offices: Objective metrics with a review of historical perspectives”, Applied Acoustics, c. 177, s. 107943, 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2021.107943.
- [10] L. Lenne, P. Chevret, ve J. Marchand, “Long-term effects of the use of a sound masking system in open-plan offices: A field study”, Applied Acoustics, c. 158, s. 107049, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.107049.
- [11] J. B. Moreland, “Ambient noise measurements in open-plan offices”, The Journal of the Acoustical Society of America, c. 83, sy 4, ss. 1683-1685, 1988, doi: 10.1121/1.395925.
- [12] M. Pierrette, E. Parizet, P. Chevret, ve J. Chatillon, “Noise effect on comfort in open-space offices: development of an assessment questionnaire”, Ergonomics, c. 58, sy 1, ss. 96-106, 2015, doi: 10.1080/00140139.2014.961972.
- [13] International Standard Organization, Iso 3382-3:2022 Acoustics — Measurement of Room Acoustic Parameterspart 3: Open Plan Offices, 2022.

Teşekkür ve Katkı Beyanı

Ölçüm, modelleme ve anket çalışmalarına verdikleri katkılardan dolayı Uğur Akagündüz, Sezin Nas, Emre Odabaşı, Ekin Fener ve Yasin Gültekin’e teşekkür ederiz. Bu araştırma, saha erişimi, kullanıcı katılımı ve finansal destek olanakları sağlayan Kolektif House’un katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

RESTORANLARDA KONUŞMANIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: HOPARLÖR YERLEŞİM TÜRLERİ VE HOPARLÖR KALİTELERİNİN ETKİLERİ

Aslı Kılınç¹, Feridun Öziş², Suat Vergili³, Konca Şaher⁴

¹Feltouch Yapı Tasarım S.T. A.Ş., Üsküdar, İstanbul, Türkiye

e-posta: asli.kilinc1409@gmail.com

²⁻³Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir, Türkiye

e-posta: feridun.ozis@deu.edu.tr, suat.vergili@deu.edu.tr

⁴Kadir Has Üniversitesi, Cibali, İstanbul, Türkiye

e-posta: konca.saher@khas.edu.tr

ÖZET

Bu bildiride, restoranlarda arka plan müziği ve ortam gürültüsünün konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri incelenmiş; hoparlör yerleşimi ve kalitesi açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Halka açık yeme-içme alanlarında yaygın olarak iki yerleşim yöntemi kullanılmaktadır: tavana gömülü ve duvar tipi (yüzeye monte) hoparlörler. Bu tür mekânlarda maliyet kaygısıyla genellikle frekans cevabı sınırlı, düşük kaliteli hoparlörler tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında, hoparlör yerleşimi ve kalitesinin konuşma anlaşılabilirliğine etkileri ölçümler, akustik simülasyonlar ve dinleme testleriyle değerlendirilmiştir. Bulgular, hoparlör yerleşim tipi ve kalitesinin akustik simülasyonlarda elde edilen Konuşma İletim İndeksi (STI) değerlerinde belirgin fark yaratmadığını; ancak dinleme testlerinde katılımcı tercihleri açısından anlamlı farklılıklar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Restoran akustiği, konuşma anlaşılabilirliği, hoparlörler.

EVALUATING SPEECH INTELLIGIBILITY IN RESTAURANTS: THE ROLE OF LOUDSPEAKER PLACEMENT AND QUALITY

ABSTRACT

This paper examines the effects of background music and ambient noise on speech intelligibility in restaurants, focusing on loudspeaker placement and quality. In public dining spaces such as restaurants and cafés, two main loudspeaker configurations are commonly used: ceiling-mounted (flush-mounted) and wall-mounted systems. Due to cost constraints, these environments often employ low-cost loudspeakers with limited frequency response and reduced sound quality. The study assesses how loudspeaker placement and quality influence speech intelligibility through measurements, acoustic simulations, and listening tests. Findings reveal that although these factors do not produce significant variations in Speech Transmission Index (STI) values obtained from simulations, listener preferences during intelligibility tests show notable and meaningful differences.

Keywords: Restaurant acoustics, speech intelligibility, loudspeakers

1. GİRİŞ

Restoranlarda arka plan gürültüsü, akustik konforu ve konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyen başlıca parametrelerden biridir. Yapılan saha ölçümleri, restoranlarda tipik gürültü düzeylerinin 70–75 dBA bandında olduğunu; kalabalık ve emici yüzeylerin yetersiz olduğu mekânlarda ise 80 dBA ve üzeri değerlerin gözlendiğini ortaya koymaktadır.

Rusnock ve Bush (2012) [1], Orlando'daki 30 restoranda 480 ölçüm yapmış ve restoranların çoğunda gürültü seviyelerinin 80 dBA'nın üzerinde olduğunu, bazı durumlarda 85 dBA'yı aştığını rapor etmiştir. Normal konuşmaya uygun arka plan gürültüsünün yalnızca restoranların %23'ünde mevcut olduğu bildirilmiştir. To ve Chung (2015) [2], Hong Kong'da 12 farklı restoranda gerçekleştirdikleri ölçümlerde gürültü düzeylerini 66.7–82.6 dBA aralığında bulmuş, ortalama değeri ise 73.9 dBA olarak raporlamıştır. Doluluk yoğunluğu arttıkça gürültü düzeyinin belirgin şekilde yükseldiği, kişi başına düşen alanın 1.5 m²'den 3 m²'ye çıkarılması ve emici tavan kullanılmasıyla arka plan gürültüsünde 3.6–4.2 dBA azalma sağlanabileceği öngörülmüştür. Razavi (2006) [3], 10 yemek işletmesinde yaptıkları ölçümlerde restoranların dolu olduğu durumlarda gürültü düzeylerinin 45–82 dBA aralığında değiştiğini saptamış ve geniş bantlı bu aralığın farklı oturma düzenleri ve doluluk oranlarından kaynaklandığını belirtmiştir. Astolfi ve Filippi (2003) [4], Torino'daki dört pizzacıda en yoğun saatlerde yaptıkları ölçümlerde arka plan gürültüsünü yaklaşık 67–76 dBA bandında rapor etmiştir. Çalışmada, konuşma anlaşılabilirliği ve mahremiyet arasında denge sağlanması için kişi başına düşen alanın artırılması ve RT değerinin düşürülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Nahid ve Hodgson (2011) [5], Lombard etkisi bağlamında akustik önlemlerin konuşma anlaşılabilirliği ve gizliliğe etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma, masalar arasına bariyer eklemenin anlaşılabilirliği iyileştirdiğini göstermiştir.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, restoranlarda 70–75 dBA düzeyinin yaygın, ancak 80–85 dBA aralığındaki yüksek değerlerin de özellikle kalabalık ve sert yüzeyli mekânlarda sık rastlanan bir durum olduğu görülmektedir. Gürültü düzeylerinin en önemli belirleyicisi doluluk yoğunluğu (kişi/m²) olup, emici yüzeylerin artırılması, bariyer eklenmesi ve kişi başına düşen alanın genişletilmesi etkin gürültü kontrol yöntemleri arasında yer almaktadır.

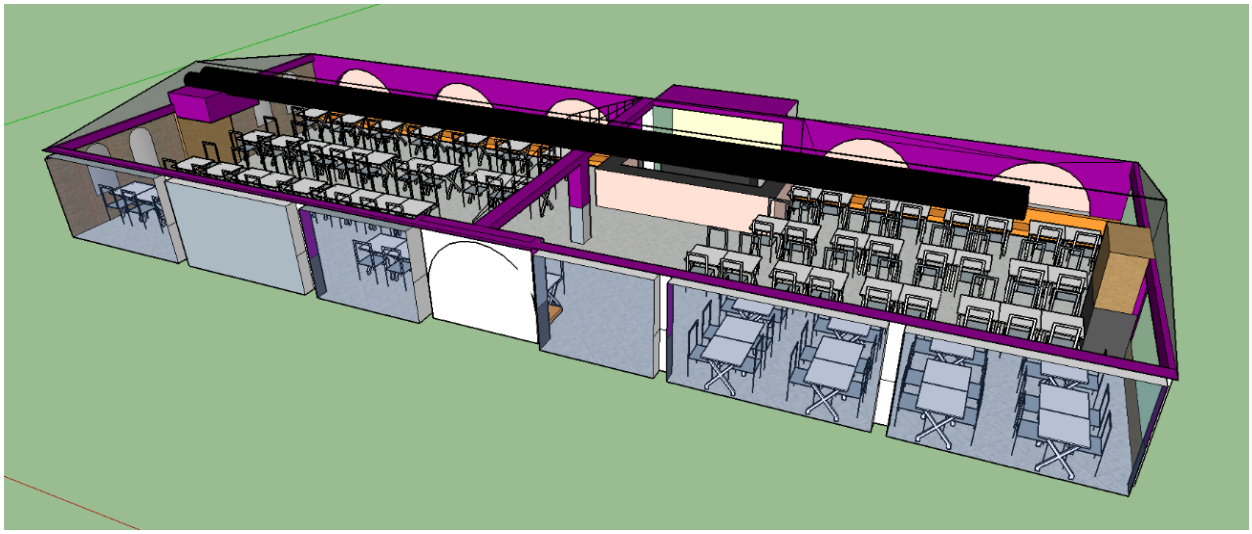
Ancak hoparlör yerleşim biçimlerinin (tavan veya duvar uygulamaları) ve hoparlör kalitesinin konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma, bu boşluğu doldurmak amacıyla tasarlanmıştır. Çalışmada önce gerçek bir restoran ortamında gürültü düzeyleri ve reverberasyon süresi ölçülmüş, ardından restoranda simülasyon yöntemiyle farklı hoparlör tipleri ve yerleşim senaryoları modellenmiştir. Son aşamada, elde edilen akustik parametreler dinleme testleri ile değerlendirilerek hoparlör yerleşiminin ve kalitesinin konuşma anlaşılabilirliğine etkileri incelenmiştir.

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma alanının özellikleri ve ölçümler

Seçilen restoran 25 m uzunluk, 9,5 m genişlik ve 3,3 m yükseliğe sahiptir. Hacmi 712 m³'tür. Mekânın kapasitesi 140 kişidir. Çalışmada izlenen yöntem aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Arka plan gürültü seviyesinin ölçülmesi
- Reverberasyon süresi ölçümleri
- Elde edilen ani uyarı yanıtlarının odeon programına aktararak kalibrasyonun gerçekleştirilmesi
- Hoparlör SO8 dosyalarının odeon programına girilmesi ve hoparlör yerleşimlerinin gerçekleştirilmesi
- Mekânda müşteri+müzik sinyali varken elde edilen SPL değerleri simülasyon ortamında elde edilmiştir. Odeon programında hoparlör ve konuşmacılar aktifken referans noktasında elde edilen bu SPL değeri, STI ölçümü için programda NRC bölümüne girilmiş ve STI ölçümleri bu şekilde gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen model üzerinde bir pop müzik eseri ve anechoic sesleri birleştirilerek ses örneklerinin elde edilerek dinleyici testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Restoran SketchUp modeli

2.2. Restoranda yapılan ölçümler

Bu çalışma kapsamında restoranda öncelikle reverberasyon süresi (RT) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. RT ölçümleri mekanın tamamını kapsayan 3 noktada yapılmıştır. 3 kaynak ve 3 alıcı noktası kullanılmıştır. Reverberasyon süresi ölçümlerinde B&K Type 4292-L omni directional dodekahedron hoparlör, Tip 1 standardında Earthworks Audio M23 ölçüm mikrofONU ve Audient ID44 ses kartı ve analiz için DIRAC yazılımı kullanılmıştır. Ölçümler 3 kaynak ve 3 alıcı noktası için yapılmıştır. Daha sonra her bir alıcı ve kaynak noktası için elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Öncelikle restoran boş iken, restoranın yaklaşık olarak orta noktasında 2 dakika boyunca 1/3 oktav bantta arka plan gürültü seviyesi kaydı alınmıştır.



Şekil 2. Restoran boşken yapılan ölçüm

Daha sonra mekânın %50'si dolu iken (70 kişi) SPL kalibrasyon noktasında 1 dakika boyunca gürültü seviyesi ölçülmüştür. Bu değerler odeon modelinin kalibrasyonunda kullanılmıştır.



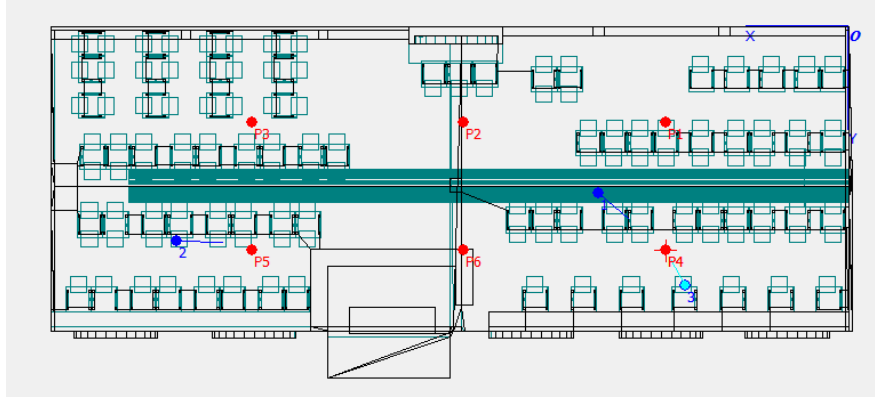
Şekil 3. Mekân %50 doluyken yapılan ölçüm

2.3. Restoranın akustik modeli

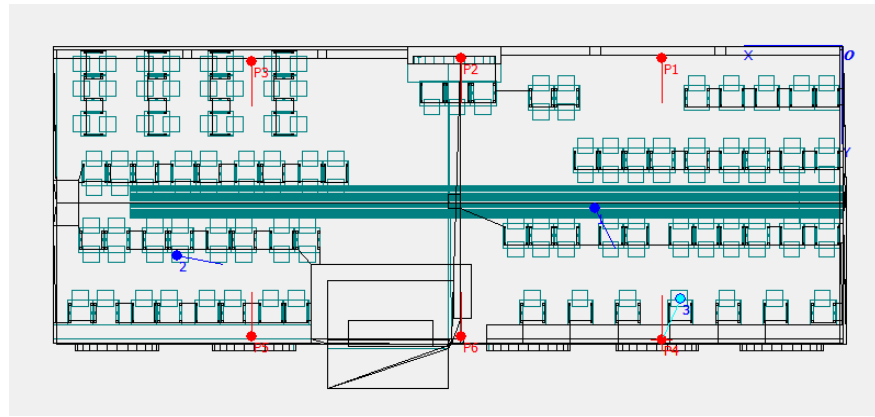
Restoran SketchUp yazılımında gerçek masa düzeni ve sayısına göre modellenmiştir. Bu model Odeon yazılımına aktararak kalibrasyon işlemine geçilmiştir. Bu aşamada yazılımın “genetic material optimizer” aracı kullanılmıştır. Bu araç, modelde bulunan malzemelerin emilim katsayılarını ölçümde elde edilen değeri sağlayacak şekilde uyumlayarak modeli kalibre eder. Böylece simülasyonda elde edilen sonuçların doğru olduğu varsayılabilir. Bunun yapılmasındaki temel sebep, hali hazırda bulunan odalarda yüzeylerin emicilik katsayılarının tam olarak bilinmemesidir. Hesaplama sonlandırıldıktan sonra malzemeler ölçümden elde edilen sonuçları simülasyon ortamında da sağlayacak şekilde kalibre edilmiş olur. Böylece simülasyondan elde edilen EDT ve T30 değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında 6 hoparlör için tavan ve duvar yerleşimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için 4 farklı markaya (Bose, JBL, Meyer ve RCF) ait tavan ve duvar hoparlörlerinin yönsellik verileri kullanılmıştır. Hoparlörler frekans karakteristiği ve yönsellikleri açısından farklılık göstermektedir.

Aşağıdaki şekilde hoparlörlerin tavan ve duvardaki yerleşimleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Tavan hoparlörleri yerleşimi



Şekil 5. Duvar hoparlörleri yerleşimi

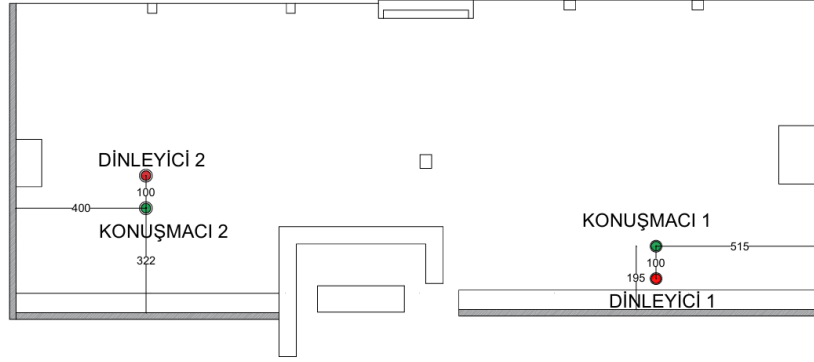
Daha sonra hoparlörlerin kazanç seviyesi, mekânın %50 dolu olduğu senaryoda mekânın orta noktasından alınan SPL değerine göre kalibre edilmiştir. Bu aşamadan sonra modelden elde edilecek ölçüm sonuçlarının gerçeği yansıttığı varsayılarak tüm STI ve SPL sonuçları bu model üzerinden alınmıştır.

2.4. İşitsel modellemeler ve dinleme testleri

İşitsel modellemeler için birisi ortada birisi ise duvara yakın olacak şekilde iki adet nokta seçilmiştir. Bu noktalara birer konuşmacı ve 1 metre mesafede olacak şekilde aynı yükseklikte bir dinleyici yerleştirilmiştir. Konuşmacı pozisyonuna kaynak olarak stüdyo ortamında kaydedilmiş, dinleyicinin tahmin etmemesi için birbirinden anlamca bağımsız 10 cümlelerin arka arkaya sıralandığı dosyalar atanmıştır. Dinleme testinde kullanılan anekoik kayıt örnekleri “İşitme Engelliler için Sınıf Akustığının İyileştirilmesi” projesi kapsamında kaydedilen örneklerden alınmıştır. (6). Her bir işitsel modelleme için cümlelerin yerleri değiştirilerek dinleyicilerin ezberlememesi amaçlanmıştır. Hoparlörlere ise kaynak olarak mekânın genel kullanımına uygun Türkçe pop türünde bir şarkı eklenmiştir.

%50 doluluk senaryosu üzerinde çalışıldığı için mekânda toplam 70 kişi olacak şekilde, 35 dinleyici ve 35 konuşmacı olduğu durumda, belirlenen dinleyici pozisyonunda kendisinden 1 m uzaklıktaki konuşmacıyı nasıl duyduğuna dair bir ses dosyası elde edilerek testlerde kullanılmıştır.

33 kulak eğitilmiş deneğe (bir işitme sınavıyla üniversiteye yerleşmiş, burada solfej armoni dersleri almış, çok sesli duyma ve kritik dinleme becerisi olan kişi), her model için elde edilen işitsel modelleme dosyaları dinletilmiştir. Dinleme işlemi STAX SR207 model kulaklık ile yapılmıştır. Model içerisindeki auralization setup kısmında dinleme işleminde kullanılan kulaklık seçilmiştir. Her bir cümleyi tam olarak anladıklarında “anladım”, ve bir kelimesini bile anlamadıklarında “anlamadım” olarak işaretlemeleri beklenmiştir.



Şekil 6. Auralization noktalarını gösteren şema. Yeşil noktalar konuşmacı, kırmızı noktalar dinleyici pozisyonlarını göstermektedir.

3. BULGULAR

3.1. Ölçüm ve akustik modelleme

Sini Köşk Restoranı’nda gerçekleştirilen ölçümlerde ortalama gürültü seviyesi 42.1 dBA, reverberasyon süresi ise (T30) değerleri ortalaması 0.53–0.80 s aralığında bulunmuştur. Özellikle 1–2 kHz bantlarında sürelerin 0.75–0.80 s düzeyine ulaştığı gözlenmiştir. Bu değerler, konuşma anlaşılabilirliği açısından genel olarak kabul edilebilir sınırlar içinde değerlendirilmekle birlikte, kullanıcı yoğunluğunun artması durumunda arka plan gürültüsüyle birleşerek iletişimde zorluklara neden olabilmektedir.

Arka plan gürültüsü ölçümlerinde ise restoranın %50 doluluk koşulunda toplam LAeq 68.9 dBA olarak kaydedilmiştir. Bu seviye, normal konuşma düzeyine (≈ 60 dBA) oldukça yakın olup, kullanıcıların konuşma seviyelerini yükseltmesine ve buna bağlı olarak Lombard etkisinin devreye girmesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, Sini Köşk Restoranı’nda reverberasyon süresinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu, ancak %50 dolulukta ulaşılan arka plan gürültüsü düzeyinin konuşma anlaşılabilirliğini sınırlayıcı bir faktör olduğu tespit edilmiştir.

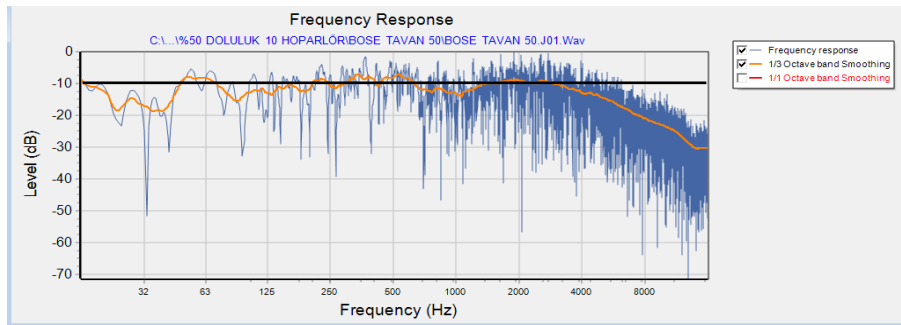
Tablo 1. %50 doluluk için simülasyonda elde edilen SPL ve ortalama T30 değeri tablosu

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	Toplam LAeq (dBA)
SPL (dB)	40.7	46.3	56.2	65.4	63.8	60.5	55.2	68.9 (%50 doluluk)
T30 (s)	0.54	0.53	0.56	0.60	0.75	0.80	0.74	RTmid

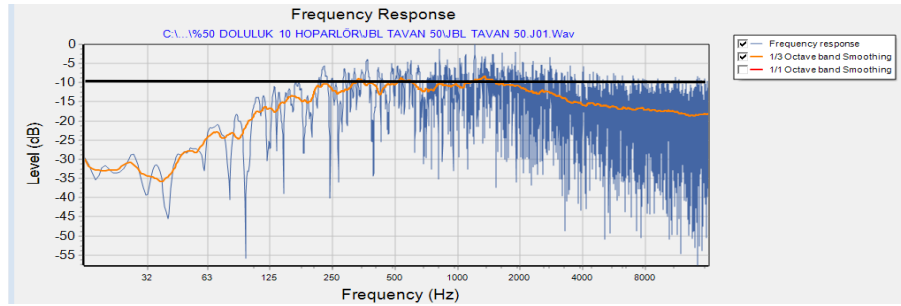
Simülasyonda reverberasyon süresi ve EDT sonuçları ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve %10'luk bir aralıkta her bir frekansta ölçüm ve simülasyon değerleri örtüştürülmüştür. Bu noktada akustik modelin kalibre olduğu kabul edilmiştir.

3.2. Simülasyonlarda kullanılan hoparlörlere ait frekans karakteristiği

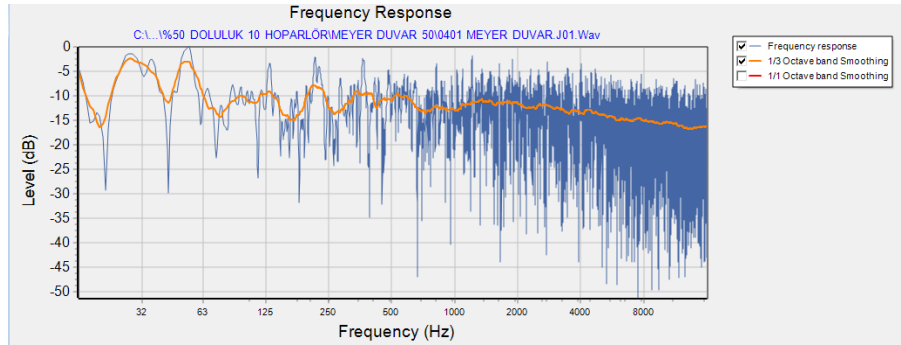
Frekans karakteristiği, bir ses ekipmanının 20Hz-20 KHz aralığında giriş ve çıkışları arasındaki kayıp, kazanç ve sabitliği açıklar. Aşağıda 4 farklı hoparlör markasına ait tavan ve duvar hoparlörlerinin mekanda yarattığı frekans tepkisini göstermektedir. Buradan çıkan ilk sonuç Bose ve Meyer hoparlörlerin bas frekansları daha yüksek seviyede verdiğidir. Ayrıca 3 hoparlör yakın frekans karakteristiğine sahipken Bose hoparlörün 4 KHz üstü cevabı diğerlerine göre daha düşüktür.



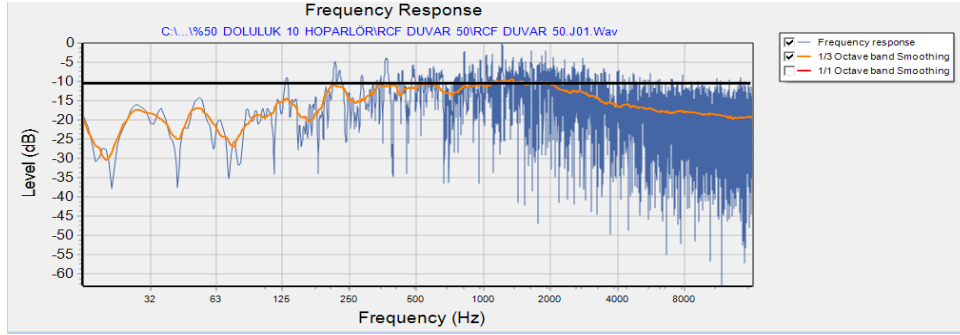
Şekil 7. Bose tavan hoparlörü ile elde edilen frekans karakteristiği



Şekil 8. JBL tavan hoparlörü ile elde edilen frekans karakteristiği



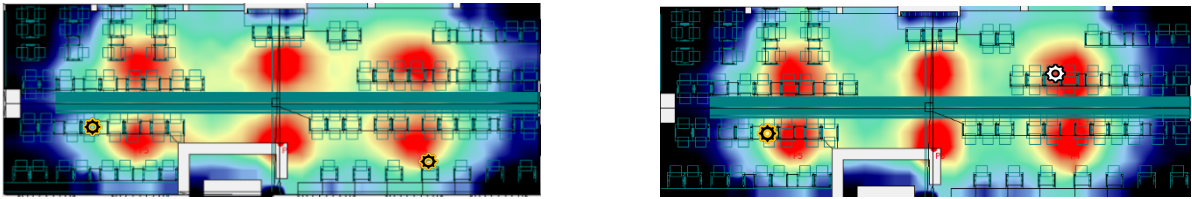
Şekil 9. Meyer duvar hoparlörü ile elde edilen frekans karakteristiği



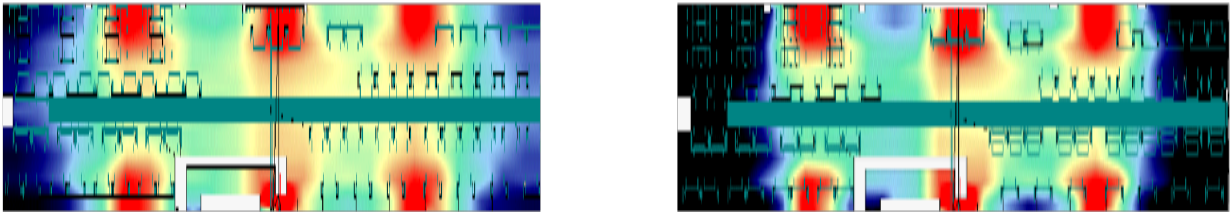
Şekil 10. RCF duvar hoparlörü ile elde edilen frekans karakteristiği

3.3. Alıcı noktalarındaki SPL ve STI değerlerinin karşılaştırılması

Kalibre edilmiş odeon modeli üzerinde gerçekleştirilen simülasyondan elde edilen hoparlör SPL dağılımları aşağıda gösterilmiştir. Tüm frekans bantlarında yayılım grafikleri değil ancak 1 KHz için yayılım grafikleri aşağıda gösterilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon sonucunda alıcı noktalarının tamamında STI değeri 0.23-0.25 aralığında çıkmıştır. SPL değerleri iki alıcı noktası, 6 farklı hoparlör ve iki farklı yerleşim içinde 76.83-78.8 dB SPL aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 11. Bose Tavan Hoparlörleri (sol) ve JBL Tavan Hoparlörleri (sağ) SPL Dağılımları



Şekil 12. Meyer Duvar Hoparlörleri (sol) ve JBL Duvar Hoparlörleri (sağ) SPL Dağılımları

Tablo 2. Tüm modellere ait SPL, STI ve SPL Background sonuçları

	6 HOPARLÖR MODELLERİ															
	BOSE TAVAN				JBL TAVAN				MEYER DUVAR				RCF DUVAR			
	ORTA ALICI		KENAR ALICI		ORTA ALICI		KENAR ALICI		ORTA ALICI		KENAR ALICI		ORTA ALICI		KENAR ALICI	
	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	RAISED	
STI	0,24	0,25	0,23	0,24	0,24	0,25	0,23	0,24	0,24	0,25	0,23	0,24	0,24	0,25	0,23	0,24
TOTAL SPL	76,3		77,1		76,6		77,3		77,1		78,8		76,8		78,2	
SPL BACKGROUND	76,8				77,3				77,5				77,4			

3.3. Dinleme testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu veriler incelendiğinde farklı hoparlör kullanımlarının yukarıda da gösterildiği gibi farklı frekans karakteristikleri ve buna bağlı olarak farklı SPL değerleri ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Bu SPL farklılıklarına rağmen anlamlı bir STI değişimi gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte dinleyici tercihleri anlaşılabilirlikte oldukça önemli seviyede değişmektedir.

Tablo 3. Hoparlör yerleşim tiplerine göre dinleme testi sonuçları

6 hoparlör modeli	
1. alıcı /kenar alıcı noktası	
Tavan Modeli	Duvar Modeli
79%	66.7%
2. alıcı /orta alıcı noktası	
Tavan Modeli	Duvar Modeli
71%	64%
ORT %75	ORT %65

Tablo 4. Hoparlör markalarına göre dinleme testi sonuçları

Bose	JBL	Meyer	RCF
%67.7	%77.2	% 62.5	%72.2

Dinleme testlerinde çıkan ilk sonuç tavan hoparlörlerinin duvar hoparlörlerine göre konuşma anlaşılabilirliği açısından daha yüksek sonuçlar elde ettiğidir. İki farklı duvar hoparlörü incelendiğinde ise Bose hoparlörünün iki alıcı noktası için SPL değeri ortalaması 76.2 dBA, JBL için ise 76.9 dBA'dır. Bose hoparlörlerin düşük SPL değeri yaratmasına rağmen dinleyici tercihlerinde JBL hoparlör daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuç Bose hoparlörlerin bas frekans cevabının daha yüksek olmasına bağlanabilir.

Aynı değerler duvar hoparlörleri açısından değerlendirildiğinde Meyer hoparlörler 77.9 dBA, RCF hoparlörler 77 dBA seviye üretmektedir. Dinleyici tercihleri değerlendirildiğinde RCF hoparlörlerin %10 daha iyi anlaşılabilirlik sağladığı görülmektedir. Bu sonuç yine Meyer hoparlörlerin bas frekans karakteristiğinin yüksekliğine bağlanabilir.

Gerçekleştirilen ölçümler ve yapılan dinleme testleri restoranlarda kullanılan hoparlör sistemleri arasındaki farkların konuşma anlaşılabilirliği üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Buralarda kullanılan sistemlerin özellikle bas frekans cevabının yüksek olması anlaşılabilirliği negatif olarak etkilemektedir. Bose ve Meyer hoparlörler JBL ve RCF hoparlörlere göre daha yüksek sınıf olmasına rağmen dinleyici tercihlerinde daha düşük değerler elde etmişlerdir. Bu veriler kullanılan ses sistemlerinin egalizasyonunun detaylı bir şekilde gerçekleştirilmesini gerektirmektedir.

Tavan ve duvar hoparlörleri karşılaştırıldığında tavan hoparlörlerinin ortalama SPL değeri 76.8, duvar hoparlörlerinin ise 77,7 seviyesinde çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sadece ses seviyesi açısından değerlendirildiğinde tavan hoparlörlerinin duvar hoparlörlerinden daha yüksek dinleyici tercihiyle sahip olmasını açıklamaktadır.

Buna ek olarak farklı müzik türlerinde bas yoğunluğunun hangi seviyede olması gerektiği daha detaylı olarak çalışılacaktır. Bunun yanında hoparlör frekans karakteristiği hoparlör kalite parametrelerinden sadece biri olup, diğer kalite faktörleri ilerleyen çalışmalarda değerlendirilmesi planlanmaktadır.

4. SONUÇLAR

Restoran tipi mekanlarda konuşma anlaşılırlığının temel belirleyicilerinden biri de müzik sinyalinin mekan içindeki seviyesi ve dağılımıdır. Seviye dağılımlarının belirlenmesinde önemli unsurların başında hoparlör yerleşim modelleri gelmektedir. Ayrıca kullanılan hoparlörlerin farklı frekans alanlarında farklı tepkiler vermesi yine mekan içindeki konuşma anlaşılırlığını etkileyen unsurlar arasındadır.

Çalışmada ortaya çıkan temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Farklı hoparlör modelleriyle elde edilen STI sonuçları simülasyon yazılımında birbirine çok yakın ve düşük çıkarken dinleme testlerinde oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Bu, seçilen hoparlör modellerinin mekan içerisindeki konuşma anlaşılırlığında etkin olduğunu gösterir.
- Her bir hoparlör modeli mekanın toplam frekans karakteristiğine farklı katkı yapmaktadır.
- Tavan hoparlör yerleşimleri duvara yerleştirilen hoparlörlere göre daha çok tercih edilmiştir.
- Daha kaliteli hoparlörler olan Meyer ve Bose hoparlörler daha düşük seviyede tercih edilmiştir. Bunun sebebi olarak her iki hoparlörün bas frekans tepkisinin daha yüksek olması gösterilebilir.

Bu sonuçlar arka planda müzik sinyali bulunan tüm mekanlarda hoparlör yerleşimi ve marka tercihlerinin mekan içerisindeki konuşma anlaşılırlığını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Bilgilendirme:

Bu alışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: SBA-2025-3701

KAYNAKLAR

- [1] Rusnock, C. F., & Bush, P. M. Case Study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9(6), D108–D113, 2012.
- [2] To, W. Chung, A., Restaurant Noise: Levels and Temporal Characteristics. *Noise & Vibration Worldwide*, 46(8), 11–17, 2015.
- [3] Razavi, Z., & Hodgson, M. “Evaluation and optimization of acoustical environments in eating establishments”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(4_Supplement), 2579–2580, 2005.
- [4] Astolfi, A., Filippi, M. Good Acoustical Quality in Restaurants: a Compromise Between Speech Intelligibility and Privacy, *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics içinde (II – 1201-1204)*. Kyoto, 2003.
- [5] Nahid, M., & Hodgson, M. “Prediction of optimal conditions for verbal-communication quality in eating establishments”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), 2005–2014, 2011.
- [6] Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) – Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) - 2232 Programı. Proje No: 114C105. “İşitme Engelliler için Sınıf Akustiğinin İyileştirilmesi”.
- [7] ISO 3382-1 (2009) Acoustics—Measurement of Room Acoustic
- [8] Parameters—Part I: Performance Spaces. International Organization for Standardization.
- [9] Rindel. (2014, February). ODEON APPLICATION NOTE – Calculation of Speech Transmission Index in rooms. In <https://odeon.dk>.
- [10] JBL Professional Guide to Business Music. <https://jblpro.com>.
https://jblpro.com/en/site_elements/guide-to-business-music
- [11] Speech Intelligibility Measurement with the XL2 Analyzer. [Www.Nti-Audio.com](http://www.nti-audio.com).
<https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/NTi-Audio-AppNote-STIPA-Measurement.pdf>
- [12] (2019, February 20). How do you measure speech intelligibility? [Www.Nti-Audio.com](http://www.nti-audio.com). Retrieved May 18, 2024, <https://www.voiceinterconnect.de/en/detail/how-do-you-measure-speech-intelligibility>

EMPEDANS TÜPÜ YÖNTEMİYLE DOĞAL VE GEVŞEK YAPILI MALZEMELERİN ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Seda Kulak Dalkılıç¹, Fatih Yazıcıoğlu²

¹⁻²İstanbul Teknik Üniversitesi, Şişli, İstanbul, Türkiye
e-posta: kulaks@itu.edu.tr, yaziciogluf@itu.edu.tr

ÖZET

Empedans tüpü yöntemi, akustik malzemelerin frekansa bağlı ses yutma katsayılarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Ancak standart, gevşek yapılı ve dökülebilir malzemelerin test edilmesine dair ayrıntılı bir yönlendirme sunmamaktadır. Bu çalışmada, bitkilendirilmiş duvar sistemlerinin ses yutma performansının güvenilir biçimde ölçülmesine yönelik yöntemsel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Çok katmanlı sistemlerde, bitki, toprak, keçe ve su kontrastı gibi bileşenler ardışık biçimde tüpe yerleştirilmiş; gevşek malzemeler için ise üç boyutlu yazıcıyla numune tutucular üretilmiş ve geçirgenliği test edilen tül malzemeler kullanılmıştır. Büyük yapraklı bitkiler küçük parçalara ayrılarak temsili numuneler oluşturulmuştur. Önerilen yöntemler, doğal ve heterojen yapıdaki malzemelerin laboratuvar testlerinde güvenilirliği artırmaya yardımcı olmakta ve literatürdeki mevcut boşluğa katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Empedans tüpü, ses yutumu, bitkilendirilmiş duvar, akustik ölçüm, doğal malzemeler.

CHALLENGES AND PROPOSED SOLUTIONS IN MEASURING NATURAL AND LOOSE MATERIALS USING THE IMPEDANCE TUBE METHOD

ABSTRACT

The impedance tube method is widely applied to determine the sound absorption coefficients of acoustic materials. However, it provides limited guidance for loose or heterogeneous materials. This study introduces methodological approaches to improve measurement reliability for green wall systems. Vegetation, soil, felt, and plywood layers were tested in sequence; loose materials were placed in 3D-printed holders covered with permeable textiles; and oversized leaves were cut into smaller pieces. These methods enhance the applicability of impedance tube tests to natural, complex materials.

Keywords: Impedance tube, sound absorption, green wall, acoustic measurement, natural materials.

1. GİRİŞ

Akustik konfor gerek kentsel ölçekte gerekse bina ölçeğinde kullanıcıların yaşam kalitesini ve mekânsal deneyimini şekillendiren temel bir unsurdur. Bu nedenle, yapı bileşenlerinin ve malzemelerin akustik performanslarının ortaya konulması, akustik konfora yönelik çalışmaların en önemli başlangıç noktalarından birini oluşturmaktadır. Kullanılan malzemelerin/elemanların/sistemlerin akustik özelliklerinin doğru ve güvenilir biçimde belirlenmesi, gürültü kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve yapı çevrelerinin tasarlanması açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Akustik malzemelerin laboratuvar ortamında test edilmesine yönelik en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, ISO 10534-2:2023 ‘Acoustics — Determination of acoustic properties in impedance tubes, Part 2: Two-microphone technique for normal sound absorption coefficient and normal surface impedance’ [1] standardında tanımlanan empedans tüpü yöntemidir. Bu yöntem, belirli çaplara sahip tüpler aracılığıyla malzemelerin frekansa bağlı ses yutma katsayılarının belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Standart, farklı frekans aralıkları için uygun tüp çaplarının kullanımını düzenlemekte ve deneysel sürece ilişkin uygulama esaslarını tanımlamaktadır.

Her ne kadar empedans tüpü yöntemi homojen ve rijit numuneler için güvenilir sonuçlar sağlasa da gevşek yapılı, dökülebilir veya heterojen nitelikli malzemelerin test edilmesinde çeşitli metodolojik zorluklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle toprak, yaprak gibi bitkilendirilmiş sistemi oluşturan doğa temelli malzemeler, standartta öngörülen yöntemlerle tüpe yerleştirilmesi ve ölçülmesi güçlük teşkil eden özellikler göstermektedir.

Mevcut literatürde, doğal ve heterojen malzemelerin empedans tüpü yöntemi ile test edilmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır [2]. Araştırmaların büyük çoğunluğu, gözenekli ancak homojen yapıya sahip akustik malzemelere odaklanmış [3,4]; buna karşın, bitkilendirilmiş duvar sistemleri ya da gevşek yapılı doğal malzemeler için sistematik ve tekrarlanabilir yöntem önerileri geliştirilmemiştir. Bu durum, doğa temelli çözümlerin akustik performansının kapsamlı ve güvenilir biçimde değerlendirilmesinin önünde önemli bir engel teşkil etmektedir.

Bu çalışma, empedans tüpü yöntemiyle doğal ve gevşek yapılı malzemelerin ölçümünde karşılaşılan zorlukları ortaya koymayı ve bu zorluklara yönelik uygulanabilir yöntemsel yaklaşımlar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, bitkilendirilmiş duvar sistemlerini oluşturan katmanların ardışık olarak test edilmesine yönelik yöntem, gevşek yapılı malzemeler için üç boyutlu yazıcı ile üretilen numune tutucu ve tül destekli sistem kullanımı, ayrıca büyük yapraklı bitkiler için temsili numune hazırlama tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin deneysel bulgular üzerindeki etkileri tartışılarak, standart dışı malzeme yapılarının akustik performanslarının daha güvenilir biçimde analiz edilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. ISO 10534-2:2023 Standardında açıklanan deneysel yöntem

Empedans tüpü yönteminde, malzemelerin normal geliş açısındaki ses yutma katsayısı ve yüzey empedans değerleri belirlenmektedir. Çınlama odası yöntemine kıyasla daha küçük

boyutlu numunelerle çalışmaya imkân tanınması, yöntemin özellikle çok sayıda ölçümün gerçekleştirileceği araştırmalarda sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır.

ISO 10534-2 [1] standardında tanımlanan bu yöntem, tek veya iki mikrofon tekniğine dayalıdır. Ölçüm sürecinde, belirli çaplara sahip tüpler aracılığıyla malzemeye yönlendirilen ses dalgasının yansıyan ve iletilen bileşenleri ayrıştırılmakta; böylece malzemenin frekansa bağlı akustik özellikleri hesaplanabilmektedir. Bu test yönteminde, bir ses kaynağı tarafından tüp içerisinde düzlemsel dalgalar üretilmekte ve tüp duvarına monte edilmiş mikrofonlar veya tüp içi hareketli bir mikrofon kullanılarak iki sabit konumdaki akustik basınçların ölçülmesi ve ardından kompleks akustik aktarım (transfer) fonksiyonu kullanılarak akustik yüzey empedansı veya yüzey admitansı gibi göstergelerin hesaplanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Test yöntemi, ISO 10534-1:1996 [5] yöntemine bir alternatif sunmakta ve genellikle çok daha hızlı bir ölçüm tekniği sağlamaktadır.

Ölçüm süreci, numunenin tüp içerisine standartlara uygun biçimde yerleştirilmesi, mikrofonların belirlenen konumlarda sabitlenmesi ve referans düzleminin doğru şekilde tanımlanması gibi kritik adımlardan oluşmaktadır. ISO 10534-2 [1] standardına göre, ölçüm öncesinde tüpün boş durumda ses yutma katsayısının belirlenerek ve mikrofonların karşılıklı değiştirilmesiyle kalibrasyonun doğrulanması, ayrıca sıcaklık, atmosfer basıncı ve bağıl nem gibi çevresel parametrelerin kaydedilmesi gerekmektedir. Aynı montaj koşulları altında en az üç numunenin test edilmesi, numune homojen değilse daha fazla numunenin kullanılması önerilmektedir. Bu uygulamalar, ölçümlerin tekrarlanabilirliğini ve sonuçların güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.

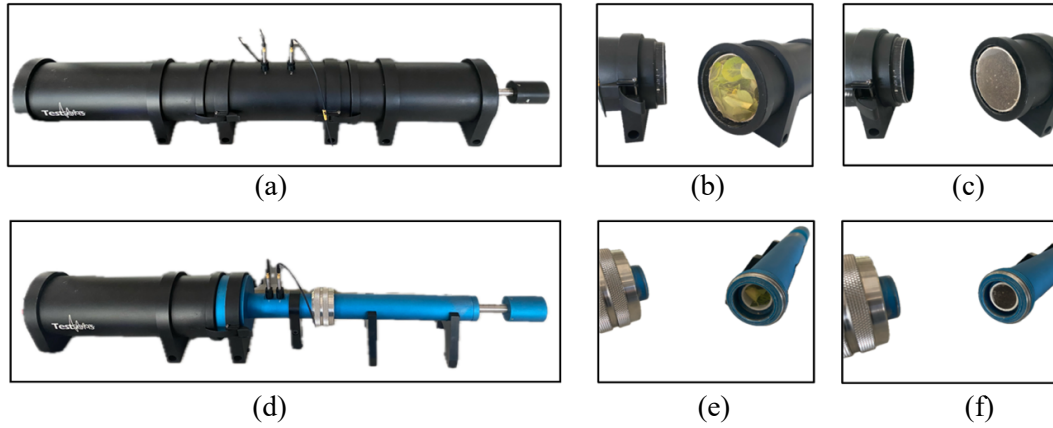
2.2. Ölçüm düzeneği ve test edilen sistemler

Bu çalışmada, bitkilendirilmiş duvar sistemlerinde kullanılan bitki ve bitki yetiştirme ortamının (toprak, keçe, su kontrastı) akustik performansı, ses yutma özellikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Normal geliş açısındaki ses yutma katsayısı (α_n) ölçümleri, ISO 10534-2 [1] standardında tanımlanan empedans tüpü yöntemiyle 2 mikrofon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Geniş bir frekans aralığını kapsayabilmek amacıyla Şekil 1’de gösterildiği üzere iki farklı empedans tüpünden yararlanılmıştır. Alçak frekanslar için (50–1600 Hz) 100 mm çapında bir tüp, orta ve yüksek frekanslar için (200–6400 Hz) ise 30 mm çapında bir tüp tercih edilmiştir. Bu sayede, test edilen malzemelerin farklı frekans bantlarındaki akustik davranışları ayrıntılı biçimde incelenebilmiştir.

Sonuçların güvenilirliğini ve temsil edilebilirliğini sağlamak amacıyla, her bir malzeme türü için üç ayrı numune hazırlanmış ve her numune üç kez test edilmiştir. Her ölçüm arasında, numunenin tüpe yerleşimden kaynaklanabilecek olası durumları dikkate almak için numune empedans tüpünden dikkatlice çıkarılıp yeniden yerleştirilmiştir. Bitki ve toprak numunelerinde, her bir ölçüm öncesinde malzemeler homojenliği korumak amacıyla yeniden karıştırılmıştır. Nihai sonuçlar üç tekrarın ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Mikrofon kanallarındaki olası uyumsuzluklardan kaynaklanabilecek hataları en aza indirmek için, her ölçüm serisinde mikrofonlar karşılıklı olarak değiştirilerek ölçümler yapılmış ve frekans yanıtı kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Tüpün kendisinin oluşturduğu sönümlenme etkisini dikkate almak amacıyla, farklı kalınlıktaki numunelerin ölçümüne geçilmeden önce tüp sönüm düzeltilmesi uygulanmıştır.



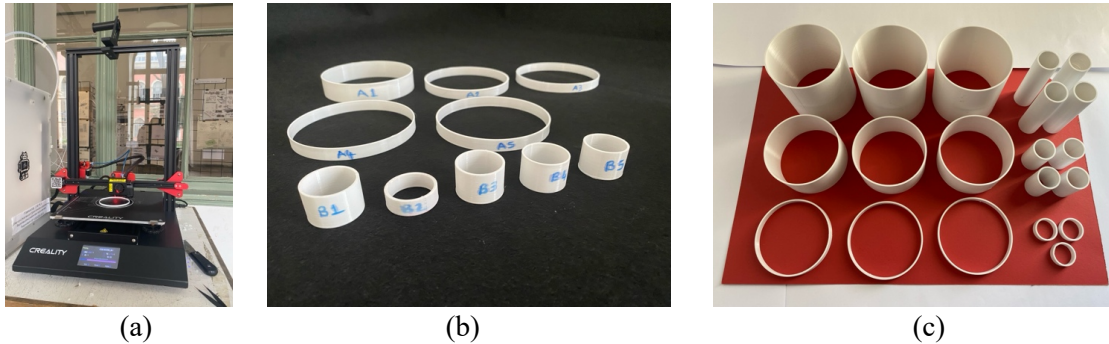
Şekil 1. Büyük (a) ve küçük (d) empedans tüpleri; bitki numuneleri (b, e) ve yetiştirme ortamı numuneleri (c, f)

Bu çalışma, farklı bitkilendirilmiş duvar sistemlerinin akustik performanslarını karşılaştıran araştırmanın yalnızca önerilen metodolojik kısmına odaklandığından, incelenen sistemler hakkında kısaca bilgi verilecektir. Bitkilendirilmiş duvar sistemleri, yazarlar tarafından tek cidarlı ve çift cidarlı olmak üzere sınıflandırılmış; alt kategoriler olarak doğrudan/dolaylı bitkilendirilmiş cepheler ile modüler ve sürekli bitkilendirilmiş duvar sistemleri ele alınmıştır. Modüler sistemlerde modül etkisi göz ardı edilerek yalnızca toprak temelli yetiştirme ortamı değerlendirilmiş, sistem bitki ve toprak numunelerden oluşturulmuştur. Sürekli sistemlerde ise bitki katmanını, siyah geotekstil keçe, geri dönüştürülmüş kırçilli keçe ve su kontrasından oluşan katmanlarla birlikte test edilmiştir. Tüm deneylerde aynı üç bitki tabakası kullanılmış; tek cidarlı konfigürasyonda bileşenler ardışık olarak yerleştirilirken, çift cidarlı konfigürasyonda 5 cm'lik hava boşluğu eklenmiştir. Numune tutucular tüp çapına uygun üretildiğinden ek sızdırmazlık önlemine gerek duyulmamıştır.

2.3. Önerilen yöntemsel yaklaşımlar

2.3.1. Numune tutucu kullanımı

Gevşek/dökülebilir malzemelerin tüpe doğru yerleştirilmesi ve hava sızdırmazlığının sağlanması, ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, farklı çap ve et kalınlıklarına sahip plastik numune tutucular (Şekil 2) PLA filament kullanılarak üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş ve tüp içerisinde sızdırmazlık performansları test edilmiştir.

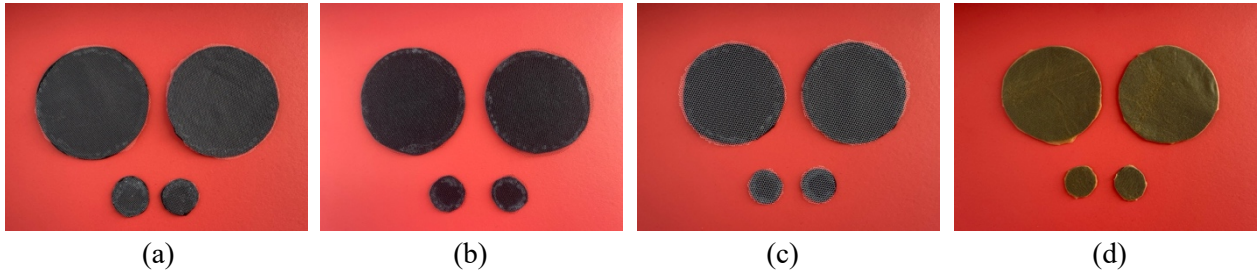


Şekil 2. (a) 3 boyutlu yazıcıda kalıpların üretimi; (b) deneme amaçlı üretilen kalıplar ve (c) ölçümlerde kullanılan kalıplar

2.3.2. Tül kullanımı

ISO 10534-2 [1] standardı, düşük yoğunluklu ve gözenekli malzemelerin ölçümünde yüzeyin ince ve titreşmeyen bir tel ızgara ile stabilize edilmesini önermektedir. Bu çalışmada, toprak ve yaprak temelli numunelerin tüpten sızmasını önlemek için farklı gözenek açıklıklarına sahip dört tür tekstil malzemesi kullanılmıştır (Şekil 3): giyim sektöründe yaygın kullanılan ince tüller (X, V), çiçekçilikte kullanılan geniş delikli ağ (Y) ve çoraplarda kullanılan esnek ince örgü (Z).

Seçilen tekstil malzemelerinin akustik performansa etkisini değerlendirmek amacıyla, normal geliş açısındaki ses yutma katsayısı empedans tüpü kullanılarak ölçülmüştür. İnce ve geçirgen yapıları nedeniyle, ölçümler sırasında tekstiller 1 mm kalınlığındaki siyah keçe tabakası üzerine yerleştirilmiş; karşılaştırma için yalnızca keçenin akustik özellikleri de ayrıca test edilmiştir. Tekstil ve tekstil-keçe kombinasyonu arasındaki fark, yalnızca tekstil malzemesinin varlığına atfedilmiş; her ölçüm iki ayrı numune ile tekrarlanarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.



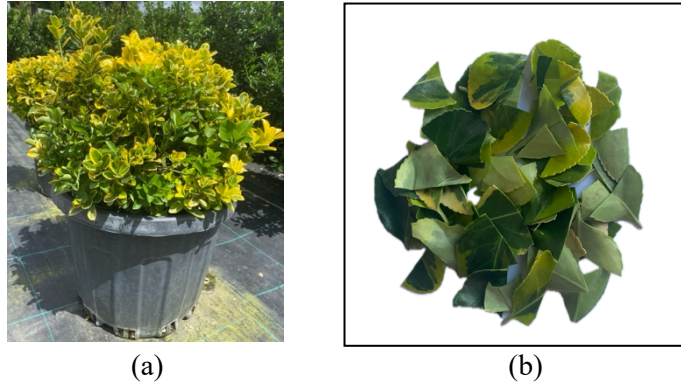
Şekil 3. (a) X tülü; (b) V tülü; (c) Y tülü ve (d) Z tülü

Seçilen dört tül malzemenin toprak geçirgenliğini değerlendirmek için, 5 cm yüksekliğinde silindirik tutucuların tabanı her bir tül ile kaplanmış ve içerisine eşit miktarda toprak yerleştirilmiştir. Sallama testi sonrasında geçirgenlik sıralaması en yüksekte en düşüğe doğru Y, X ve V tülleri şeklinde belirlenmiş, Z tülünde ise neredeyse hiç sızıntı gözlenmemiştir.

2.3.3. Bitki numunelerinin hazırlanılması

Bu çalışmada bitki olarak *Euonymus fortunei* ‘Emerald Gold’ türü seçilmiştir. Numuneler hazırlanırken oval formdaki yapraklar (2–5 cm uzunluk, 1–2 cm genişlik), numune tutucuya yerleştirilmiş ve tüpün 2 tarafı da Z tipi tülle kapatılmıştır. Yaprak hacminin toplam iç hacme oranı dikkate alınarak yaklaşık %95 doluluk oranı sağlanmıştır [6]. Büyük çaplı (10 cm) empedans tüpünde yapraklar doğrudan yerleştirilebilmiş; küçük çaplı (3 cm) tüpte ise ölçüm yapılabilmesi amacıyla, Şekil 4’te görüldüğü üzere yapraklar makasla 5–6 parçaya ayrılarak temsili numuneler oluşturulmuştur.

Literatürde küçük çaplı tüplerle yapılan çalışmalar sınırlı kalmış, ölçümlerin büyük oranda geniş çaplı tüplerle gerçekleştirilmesi ise yalnızca alçak frekanslardaki performansın araştırılmasıyla sonuçlanmıştır [7]. Bazı çalışmalar ise yaprakların tüp çapına göre kesilmesi yöntemini tercih etmiştir [8]. Ancak bu yaklaşım, çok sayıda yaprağın bir araya gelip oluşturduğu kümülatif etkiyi ve yaprak-hava etkileşimini yansıtmakta yetersizdir. Bu nedenle, mevcut çalışmada yaprakları parçalama yöntemi kullanılarak küçük tüp ölçümlerinde daha gerçekçi ve temsil gücü yüksek sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4. (a) *Euonymus fortunei* 'Emerald Gold' bitkisinin saksı içerisindeki görünümü ve (b) yaprakların parçalara ayrıldıktan sonraki görünümü

2.3.4. Büyüme ortamı numunelerinin hazırlanması

Modüler yaşayan duvar sistemlerindeki büyüme ortamı için torf ağırlıklı (yaklaşık %75 organik içerikli) saksı toprağı kullanılmıştır. Toprak nem oranı değiştirilmeden, numune tutuculara sıkıştırma yapılmaksızın 100 mm yüksekliğe kadar doldurulmuş, dökülmemesi için ise numune tutucunun her iki yüzeyi Z tipi tülle kapatılmıştır.

Sürekli yaşayan duvar sistemindeki büyüme ortamı içinse, siyah geotekstil keçe (1 mm), geri dönüştürülmüş kırçillı keçe (10 mm) ve su kontrastı tabakaları (6 mm) kullanılmıştır.

2.3.5. Çok katmanlı bitkilendirilmiş duvar sistemlerinin empedans tüpüne yerleştirilmesi

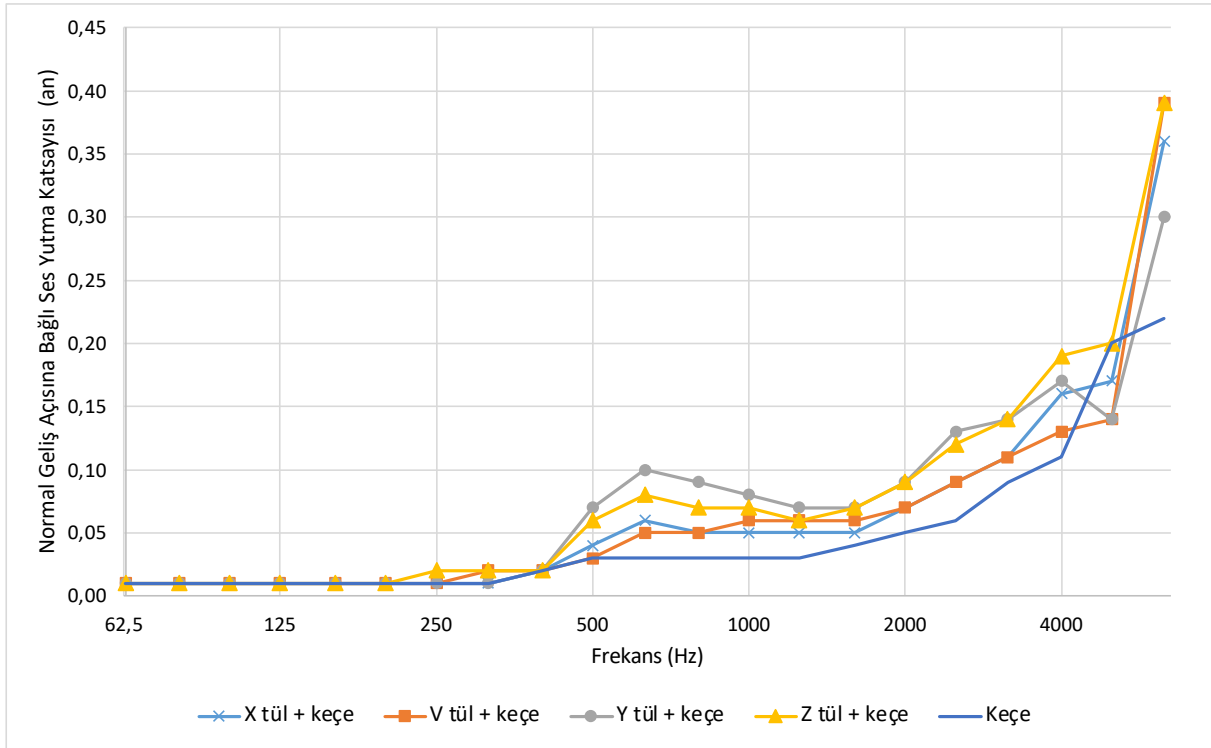
Modüler yaşayan duvar sisteminin ölçümünde, önce toprak ardından bitki katmanı empedans tüpüne yerleştirilmiş ve bitkinin üstte kalması sağlanarak gerçek uygulama koşulları yansıtılmıştır. Ölçüm ve taşıma sırasında malzeme kaybını önlemek amacıyla, bitki veya toprak içeren numune tutucuların her iki yüzeyi Z tipi tül ile kaplanmıştır.

Sürekli yaşayan duvar sisteminin ölçümünde; önce su kontrastı sonra sırayla kırçillı keçe, siyah keçe ve bitki katmanı yerleştirilmiştir. Bitki yaprakların dökülmemesi için tutucunun iki yüzeyi Z tipi tülle kapatılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, bitkilendirilmiş duvar sistemlerini oluşturan katmanlar, gerçek duvar konfigürasyonundaki sıraları korunarak empedans tüpüne ardışık şekilde yerleştirilmiştir. Böylece sistemin bütüncül akustik performansı, uygulamadaki koşullara en yakın biçimde değerlendirilmiştir. Bu yöntem, laboratuvar koşullarında yapılan ölçümlerin temsil gücünü artırmış ve sonuçların pratik kullanım açısından daha güvenilir olmasını sağlamıştır.

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen numune tutucular, gevşek ve dökülebilir malzemelerin (özellikle toprak ve yaprak) tüpe yerleştirilmesini kolaylaştırmış ve hava sızdırmazlığını sağlayarak ölçümlerin güvenilirliğini artırmıştır. Ölçüm sırasında kullanılan tül kaplama, malzeme sızmasını etkin biçimde engellemiş ve yapılan testler tülün ses yutma performansına anlamlı bir etkisinin bulunmadığını göstermiştir (Şekil 5). Toprak geçirgenliği deneylerinde, Z tipi tülün en düşük sızıntıyı sağladığı ve bu nedenle ölçüm güvenilirliği açısından en uygun seçenek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Tüll ve keçe malzemelerinin ölçülen normal geliş açısındaki ses yutma katsayıları

Büyük yapraklı türlerde, yaprakların parçalanarak küçük çaplı tüplere yerleştirilmesi yöntemi, literatürde yaygın olarak görülen “yaprağın tüp çapına göre kesilmesi” yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar üretmiştir. Bu yöntem, yaprakların kümülatif etkisini ve hava ile etkileşimini daha doğru biçimde temsil ederek ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini artırmıştır.

Elde edilen bulgular, ISO 10534-2 standardının gevşek yapılı ve heterojen malzemeler için ayrıntılı yönlendirme sunmadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada geliştirilen yöntemsel yaklaşımlar, standarttaki eksiklikleri pratik çözümlerle tamamlamakta ve doğa temelli malzemelerle yapılacak gelecekteki akustik testler için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Böylece literatürdeki sınırlı çalışmaların ötesine geçilerek, bitkilendirilmiş duvar sistemlerinin akustik performansının daha güvenilir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlanmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışma, empedans tüpü yöntemiyle doğal ve gevşek yapılı malzemelerin ölçümünde karşılaşılan zorluklara yönelik yöntemsel çözümler geliştirmiştir. Önerilen yenilikler arasında üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş numune tutucuların kullanımı, malzeme sızmasını önleyen tüll destekli sistemler ve büyük yapraklı bitkiler için temsili numune hazırlama tekniği öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar, standart yöntemlerle ölçülmesi güç olan heterojen ve doğa temelli malzemelerin laboratuvar ortamında test edilebilirliğini artırmıştır.

Doğal ve gevşek yapılı malzemelerin akustik performanslarının güvenilir biçimde belirlenmesi hem bilimsel araştırmalar hem de uygulamaya dönük tasarımlar açısından kritik bir gerekliliktir. Bu çalışmada geliştirilen yöntemler sayesinde, laboratuvar testlerinin tekrarlanabilirliği yükselmiş, elde edilen sonuçların temsil gücü artırılmıştır.

Literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmaya kıyasla, bu çalışma doğal malzemelerin empedans tüpü ölçümlerine yönelik eksiklikleri tamamlayıcı nitelikte pratik bir yöntemsel çerçeve sunmaktadır. Böylelikle doğa temelli çözümlerin akustik performansına dair daha kapsamlı değerlendirmelere olanak sağlanmakta ve gelecekte yapılacak araştırmalar için yol gösterici katkılar sunulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] International Organization for Standardization. (2023). ISO 10534-2: Acoustics – Determination of acoustic properties in impedance tubes – Part 2: Two-microphone technique for normal sound absorption coefficient and normal surface impedance. Geneva, Switzerland: ISO.
- [2] Berardi, U., & Iannace, G. (2017). Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant. *Applied Acoustics*, 115, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.012>.
- [3] Del Rey, R., Alba, J., Arenas, J. P., & Sanchis, V. J. (2012). An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam. *Applied Acoustics*, 73(6–7), 604-609. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.12.009>.
- [4] Jaouen, L., Bécot, F.-X., & Chevillotte, F. (2025). Characterizations of acoustical porous media: standardized methods, current trends and challenges. *Frontiers in Acoustics*, 3. <https://doi.org/10.3389/facou.2025.1543456>.
- [5] International Organization for Standardization. (1996). ISO 10534-1: Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tube– Part 1: Method using standing wave ratio. Geneva, Switzerland: ISO.
- [6] Attal, E., Côté, N., Shimizu, T., & Dubus, B. (2019). Sound absorption by green walls at normal incidence: Physical analysis and optimization. *Acta Acustica united with Acustica*, 105(2), 301–312. <https://doi.org/10.3813/AAA.919313>.
- [7] Horoshenkov, K. V., Khan, A., & Benkreira, H. (2013). Acoustic properties of low growing plants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5), 2554–2565. <https://doi.org/10.1121/1.4798671>.
- [8] Ding, L., Van Renterghem, T., Botteldooren, D., Horoshenkov, K. V., & Khan, A. (2013). Sound absorption of porous substrates covered by foliage: Experimental results and numerical predictions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(6), 4599–4609. <https://doi.org/10.1121/1.4824830>.

Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: MDK-2023-45156.

AKUSTİK LİTERATÜRÜNDE SAÇILMA KATSAYISI ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Salih Okan Ercan¹, Feridun Öziş², Suat Vergili³, Konca Şaher⁴

¹⁻²⁻³Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir, Türkiye

E-posta: okan@blx-arl.com, feridun.ozis@deu.edu.tr, suat.vergili@deu.edu.tr

⁴Kadir Has Üniversitesi, Cibali, İstanbul, Türkiye

e-posta: konca.saher@khas.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, akustik saçılma katsayısının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ISO 17497-1 standardına göre gerçekleştirilen çınlamalı oda ölçüm yöntemi detaylı şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, saçılma katsayısı ölçümlerinin doğruluğunu artırmak için deney düzeneğinin hassas biçimde planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Çalışmalarda kullanılan numune tipleri genel olarak pürüzlü yüzeyler, difüzörler ve akustik panellerdir. Masa ve sandalye düzeni, masa üstünde kullanılan tabak, bardak ve diğer eşyaların kombinasyonları belirlenerek saçılma katsayısı üzerindeki etkileri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Saçılma katsayısı, ISO 17497-1, çınlamalı oda, akustik ölçüm, akustik düzenleme.

MEASUREMENT AND EVALUATION OF SCATTERING COEFFICIENT IN ACOUSTIC LITERATURE

ABSTRACT

In this study, the reverberation room measurement method, which is widely used for determining the acoustic scattering coefficient according to the ISO 17497-1 standard, is examined in detail. The findings reveal that precise planning of the experimental setup is essential to improve the accuracy of scattering coefficient measurements. The sample types used in the studies generally include rough surfaces, diffusers, and acoustic panels. The effects of table and chair arrangements, as well as combinations of plates, glasses, and other items placed on the table, on the scattering coefficient will be investigated.

Keywords: Scattering coefficient, ISO 17497-1, reverberation chamber, acoustic measurement, acoustic arrangement.

1. GİRİŞ

Akustik saçılma katsayısı, bir yüzeyin gelen ses enerjisini ne ölçüde dağıttığını belirleyen önemli bir parametredir. Bu parametre, konser salonları, stüdyolar, tiyatro salonları, sınıflar ve ofis binaları gibi akustik tasarım gerektiren mekanlarda kritik bir rol oynar. Bu nedenle, yüzeylerin saçılma performansını sayısal olarak ifade eden “saçılma katsayısı” (scattering coefficient) parametresi, akustik projelendirme ve simülasyon çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. ISO 17497-1 standardı, saçılma katsayısının ölçümü için çınlamalı oda yöntemini tanımlar ve bu yöntem, yüzeylerin akustik performansını değerlendirmede yaygın olarak kullanılır. ISO 17497-2 standardı, difüzyon katsayısının ölçümü için serbest alan yöntemini tanımlar. Difüzyon katsayısı malzemenin ses dağıtım katsayısını yönsel olarak belirlemek için kullanılır. Bu parametre saçıcı malzemelerin enerjiyi tüm yönler eşit şekilde saçma yeteneğini belirlemek içindir. saçılma katsayısı ise ses enerjisinin dağılımını yönsel olarak belirlemez, toplam saçılmayı belirler.

Bu çalışmada, ISO 17497-1 standardına göre çınlamalı odada yapılan saçılma katsayısı ölçüm yöntemi incelenmiş, ölçümde kullanılan numune tipleri ve biçimlerinden kaynaklı belirsizlikler literatürden örneklerle ele alınmıştır. Elde edilen bilgilerin ışığında restoranlarda kullanılan masa, sandalye yerleşimleri ve masa üzerine yerleştirilen tabak, bardak, çatal gibi eşyaların saçılma katsayıları ölçülmesi planlanmaktadır. Seçilen numune tiplerine göre uygun ölçüm yöntemi ve numunenin deney düzeneği tasarımı belirlenmiştir.

2. ISO 17497-1 STANDARDINA GÖRE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

ISO 17497-1 standardı, rastgele gelişli ses saçılma katsayısının çınlamalı oda (reverberation room) kullanılarak ölçülmesine olanak tanır. Kullanılacak olan çınlamalı oda ISO 354 Standardı gerekliliklerini sağlamalıdır.

Ölçüm yöntemi temelde, numune ile ve numune yokken ortamdaki çınlama süresi (RT60) farkından saçılma katsayısını hesaplamaya dayanır. Çınlama Süresi Ölçümü ISO 354 standardında belirtilen şekilde ölçülmelidir. Test sinyali, ses kaynağı konumları ve mikrofon konumları da ISO 354 standardında belirtilen şekilde olmalıdır.

Yapılacak ölçümler sonucunda bulunacak olan parametrelerin tanımları aşağıdaki gibidir:

Saçılma katsayısı (s_0): aynasal olarak yansıyan akustik enerjinin toplam yansıyan akustik enerjiye oranının bir eksiği olarak hesaplanan değer.

NOT: Teorik olarak, s_0 0 ile 1 arasında değerler alabilir. Burada 0, tamamen aynasal yansıyan bir yüzeyi, 1 ise tamamen saçılan bir yüzeyi ifade eder. 0 alt indisi, yüzeyin normaline göre geliş açısını belirtmek için kullanılabilir. Herhangi bir alt indisi yoksa, rastgele gelişli anlaşılmalıdır [1].

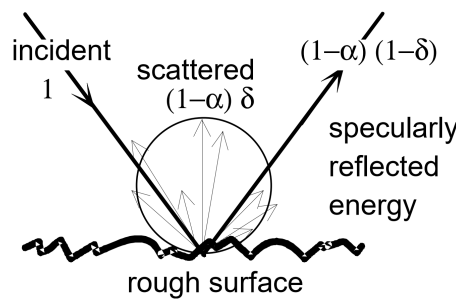
Rastgele gelişli saçılma katsayısı (s): Difüz bir ses alanında bir yüzeyden yansıyan toplam akustik enerjinin aynasal olarak yansıyan akustik enerjiye oranının bir eksiği olarak hesaplanan değer [1].

Rastgele gelişli ses yutma katsayısı (α_s): Difüz bir ses alanında bir yüzey üzerine gelen akustik enerjinin toplam yansıyan akustik enerjiye oranının bir eksiği olarak hesaplanan değer [1].

Rastgele gelişli aynasal yutma katsayısı (α_{spec}): Difüz bir ses alanında bir yüzey üzerine gelen akustik enerjinin aynasal olarak yansıyan akustik enerjiye oranının bir eksiği olarak hesaplanan değer.

NOT: Bu, kayıpların hem saçılan hem de yutulan akustik enerjiyi içerdiği durumdaki görünür yutma katsayısıdır. α_{spec} , α_s ile 1 arasında değerler alabilir [1].

Rastgele gelişli ses saçılma katsayısı prensibi, bir yüzeyden yansıyan sesi aynasal olarak ve saçılmış olarak birbirinden ayırmaktır. Aynasal yansıma bir sesin düz bir yüzeye gelerek enerjisini kaybetmeden aynı şekilde yansımasıdır. Saçılma ise düzgün olmayan bir biçimde yansıyan enerji miktarıdır. Bu durum Şekil 1’de gösterilmiştir.



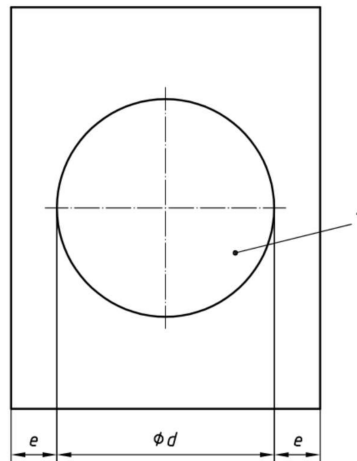
Şekil 1. Yansıyan sesin enerji bileşenleri [5]

2.1. Ölçüm süreci

Ölçümlerde en az iki ses kaynağı pozisyonu ve üç mikrofon pozisyonu kullanılmalıdır. Her pozisyon için ölçülen çınlama süreleri aritmetik ortalaması alınarak ifade edilir.

Numunenin yerleştirileceği döner tabla MDF, beton, cam gibi pürüzsüz ve sert bir yüzeye sahip olmalıdır. Döner tabla odanın sınır duvarlarından en az 1 metre uzakta olacak şekilde odanın taban alanının ortasında olacak şekilde konumlandırılmalıdır.

Çınlama odası içerisindeki döner tabla yerleşimi şeması aşağıda sunulmuştur:



Şekil 2. Çınlama odası tabanına döner yerleşimi [1]

Burada;

1: Döner tabla

d : Döner tabla çapı

e : oda duvarlarına en az mesafe

Test numunesinin alanı ölçüm doğruluğunu arttırmak için mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Test numunesi dairesel olmalı ve minimum çapı 3 metre olmalıdır [1].

Alternatif olarak test numunesi kare şeklinde olabilir. Bu formdaki numune için kenar uzunluğu 2,65 metre olmalıdır. Bu durumda döner tablanın çapı 3,75 metre olmalıdır. Test numunesi dairesel değilse döner tablanın yüzeyiyle aynı hizada boşluk bırakılmayacak şekilde monte edilmelidir [1].

Test numunesi yüzeyi genel olarak pürüzlü yüzeyler olacağından yapısal derinlik test numunesinin boyutuna kıyasla yeterince küçük olduğunda sonuçlar güvenilir olacaktır. ISO 17497-1 standardında bu sınırlama aşağıdaki formül ile belirtilmiştir.

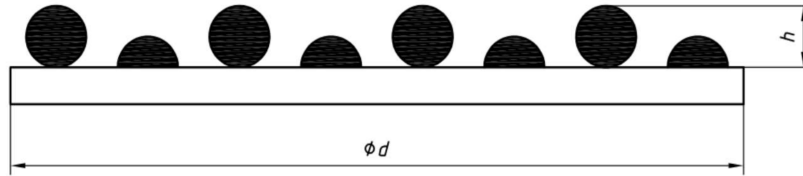
$$h \leq d/16$$

h : Derinlik

d : Test numunesi çapı

[1]

Test numunesi yerleşimi aşağıdaki şema ile sunulmuştur:



Şekil 3. Döner tabla üzerine test numunesi yerleşimi [1]

Test numunesinin ses yutma katsayısı $\alpha_s = 0,50$ değerini aşmamalıdır [1].

Ölçümler, 100 Hz ile 5000 Hz arasındaki merkez frekansları kapsayan üçte bir oktav bantlarında yapılmalıdır. Bu, tam ölçekli ölçümler için geçerlidir. 1:N fiziksel ölçek faktörü kullanılıyorsa, merkez frekansları $N \times 100$ Hz ile $N \times 5000$ Hz aralığını kapsamalıdır [1].

Saçılma katsayısı hesabı için 4 farklı çınlama süresi (T) ölçümü yapılmalıdır. Bu ölçümler ve numune yerleşimleri ile ilgili yönlendirme aşağıdaki tablo ile sunulmuştur.

Tablo 1. Ölçülecek çınlama süreleri

Çınlama Süresi	Test Numunesi	Döner Tabla
T_1	Yok	Dönmüyor
T_2	Var	Dönmüyor
T_3	Yok	Dönüyor
T_4	Var	Dönüyor

Burada;

T₁: Çınlama Odası içerisinde döner tabla varken, döner tabla üzerinde numune yokken ölçülen çınlama süresi

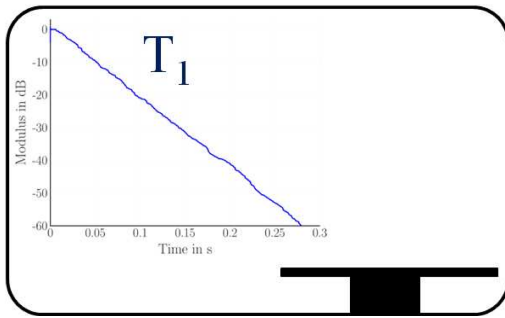
T₂: Çınlama odası içerisine döner tabla ve numune yerleşimi yapıldıktan sonra, döner tabla hareket ettirilmeden ölçülen çınlama süresi.

T₃: Çınlama odası içerisinde döner tabla taban plakası var iken fakat numune üzerinde değilken, tabla belirlenen açılarda döndürülerek alınan çınlama süresi ölçümleri.

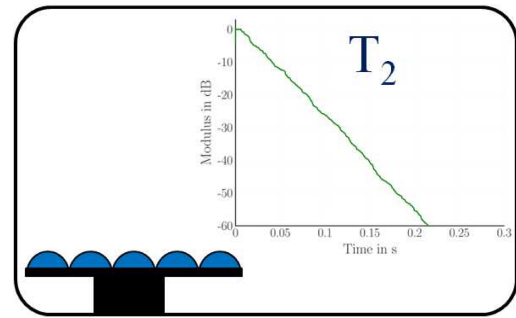
T₄: Çınlama odası içerisinde döner tabla ve numune yerleşimi yapıldıktan sonra, tabla belirlenen açılarda döndürülerek alınan çınlama süresi ölçümleri.

Döner tabla döndürülerek yapılan ölçümlerde numune, her bir kaynak - alıcı pozisyonu için $\Delta\phi = 360^\circ / n$ kadar döndürülerek n ölçüm yapılabilir. n belirlenen açılarda yapılan ölçüm adedidir. n . $60 < n < 120$ aralığında olmalıdır. Tercihen $n = 72$ kullanılır. Bu da $\Delta\phi = 5^\circ$ lik açısal adımlara denk gelir.

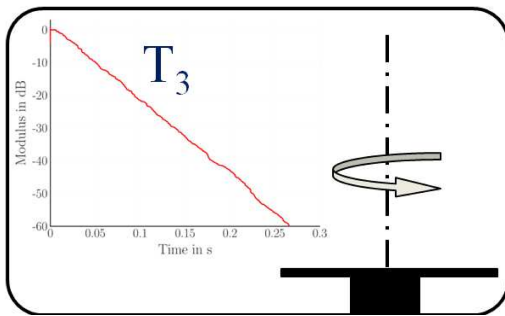
Çınlama süresi ölçümlerinde döner tabla hareketleri aşağıdaki görselde belirtilmiştir.



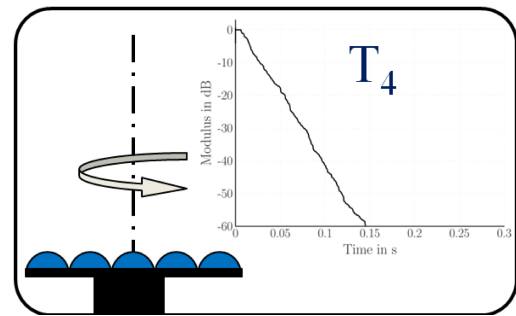
Numune yok, tabla dönmüyor



Numune var, tabla dönmüyor



Numune yok, tabla dönüyor



Numune var, tabla dönüyor

Şekil 4. Ölçüm süreci döner tabla hareketleri [2]

2.2. Çevresel koşullar

Ölçüm sırasında sıcaklık ve bağıl nemdeki değişiklikler, özellikle yüksek frekanslarda ölçüm sonuçları üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Hava zayıflamasını azaltmak, ölçüm doğruluğunu artırır. Sıcaklık ve bağıl nem, dört ölçüm durumunun (bkz. 7.3) her birinden önce ve sonra odada ölçülmelidir. Her bir ölçüm durumu için ortalama değerler, Madde 8'de açıklandığı gibi düzeltmeler için kullanılır. Çevresel koşulların ses yutma katsayısı ISO 9613-1 standardına göre hesaplanır [1].

2.3. Sonuçların ifadesi ve hesaplama formülleri

Rasgele gelişli ses yutma katsayısı α_s aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\alpha_s = 55,3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_2 - m_1) \quad (1)$$

V : Çınlama odası hacmi (metreküp, m^3)

S : Numune yüzey alanı (metrekare, m^2)

T_1 : Çınlama odası boş iken ölçülen çınlama süresi (Saniye, s)

T_2 : Numune yerleşimi yapıldıktan sonra ölçülen çınlama süresi (Saniye, s)

c_1 : T_1 ölçümü sırasında havadaki ses hızı (metre/saniye, m/s)

c_2 : T_2 ölçümü sırasında havadaki ses hızı (metre/saniye, m/s)

m_1 : T_1 ölçümü sırasında havanın enerji zayıflama katsayısı (metre⁻¹, m⁻¹)

m_2 : T_2 ölçümü sırasında havanın enerji zayıflama katsayısı (metre⁻¹, m⁻¹) [1]

Rastgele gelişli aynasal yutma katsayısı α_{spec} , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\alpha_{spec} = 55,3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_4 T_4} - \frac{1}{c_3 T_3} \right) - \frac{4V}{S} (m_4 - m_3) \quad (2)$$

T_3 : Çınlama odası boş iken ölçülen çınlama süresi (Saniye, s)

T_4 : Numune yerleşimi yapıldıktan sonra ölçülen çınlama süresi (Saniye, s)

c_3 : T_3 ölçümü sırasında havadaki ses hızı (metre/saniye, m/s)

c_4 : T_4 ölçümü sırasında havadaki ses hızı (metre/saniye, m/s)

m_3 : T_3 ölçümü sırasında havanın enerji zayıflama katsayısı (metre⁻¹, m⁻¹)

m_4 : T_4 ölçümü sırasında havanın enerji zayıflama katsayısı (metre⁻¹, m⁻¹) [1]

Rastgele gelişli saçılma katsayısı s , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır. [1]

$$s = 1 - \frac{1 - \alpha_{spec}}{1 - \alpha_s} = \frac{\alpha_{spec} - \alpha_s}{1 - \alpha_s} \quad (3)$$

Taban plakasının saçılma katsayısı s_{base} , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$s_{base} = 55,3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_3 T_3} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_3 - m_1) \quad (4)$$

Tüm ölçüm sonuçları aşağıdaki sonuçlar için bir tablo ve bir grafik şeklinde raporlanmalıdır:

- Ses yutma katsayısı α_s
- Saçılma katsayısı s

Tabloda, sonuçlar 0,01'e yuvarlanmalıdır. 0 'dan küçük değerler kesilmelidir. Kenar etkileri nedeniyle 1'den büyük değerler oluşabilir (bkz. 6.3.2) ve bu değerler raporlanmalıdır. [1]

Michael Vorländer'in *Measurement of Surface Reflection Properties - Concepts and Uncertainties* adlı kitabında bu belirsizlikler detaylı biçimde sınıflandırılmış ve özellikle çınlama süresi üzerinden hesaplanan saçılma katsayısının sistematik ve rastgele hata bileşenleri açıklanmıştır. Kitapta, sistematik hatalara örnek olarak; kaynak ve mikrofon yerleşimindeki sapmaların, oda modlarının çınlama süresine etkisinin ve numune kenarlarının serbestlik derecesine bağlı olarak saçılan enerjinin yanlış tahmin edilmesinin ölçüm sonuçlarına etkileri tartışılmıştır. Rastgele hatalar kapsamında ise, sinyal-gürültü oranı, tekrarlanan ölçümlerdeki varyasyon ve çevresel koşullardaki (örneğin sıcaklık, nem) değişimlerin etkisi üzerinde durulmuştur. Özellikle sıcaklık ve nem gibi çevresel parametreler, sesin havadaki yayılma hızını ve dolayısıyla oda içi çınlama süresini doğrudan etkileyebilir. Vorländer, ölçüm sırasında bu değişkenlerin kontrol altında tutulması gerektiğini, aksi halde küçük sıcaklık değişimlerinin bile yüksek frekanslardaki çınlama sürelerinde anlamlı farklılıklara yol açabileceğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde nem oranındaki değişim, özellikle yüksek frekanslarda havanın yutuculuğunu artırarak sonuçların sapmasına neden olabilir.

3. SONUÇ

ISO 17497-1 standardı, saçılma katsayısının ölçümüne dair uluslararası kabul görmüş bir yöntem sunar. Ancak, ölçüm belirsizliklerini en aza indirmek için:

- Numunenin boyutu ve yerleşimi optimize edilmeli ve yuvarlak formda numune yerleşimi yapılmalıdır.
- Ölçümler arasında çevresel koşullar birbirine yakın olmalıdır.
- Her ölçümde mikrofon ve kaynak konumları aynı olmalıdır.

Bununla birlikte, ölçümlerin doğruluğu numune biçimi, konumlandırma ve oda özellikleri gibi birçok etkene bağlıdır. Bu çalışmada hem yöntemin temel prensipleri hem de literatürde tanımlanan belirsizlik kaynakları ele alınmıştır. Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılabilirliği açısından, deney düzeneği kurulumun ve veri işlem sürecinin şeffaf biçimde belgelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Literatürdeki diğer çalışmalarda genel olarak gürültü bariyerleri, difüzör akustik paneller, pürüzlü yüzey kaplamaları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yaşam alanlarında kullanılan eşyaların akustik davranışları konusunda ses yutma katsayısı bulunabiliyorken saçılma katsayısı verileri bulunmamaktadır. Günümüzde restoran akustiği konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Masa ve sandalye yerleşimleri ve Masa üstü objeler restoran içerisinde önemli bir alan kaplamaktadır. Bu eşyalar, mekânın akustik davranışında önemli bir etkiye sahiptir. Bu eşyalar ve eşya gruplarının akustik davranışları yapılacak olan bu çalışma ile belirlenmesi hedeflenmektedir. Yapılan bu çalışma gelecekte hacim akustiği üzerine yapılacak olan araştırmalara katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] International Organization for Standardization., ISO 17497-1:2004 Acoustics — Sound-scattering properties of surfaces — Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room, 2004.
- [2] Müller-Trapet, M., Measurement of surface reflection properties: concepts and uncertainties (Vol. 23). Logos Verlag Berlin GmbH., 2015.
- [3] Tadeu, A., Carrilho, J., Cortês, A., Ferreira, F., & Almeida, J. Acoustic absorption, scattering, and diffusion provided by green roof systems. Building and Environment, 262, 111778, 2024.
- [4] Vorländer, M., Case studies in measurement of random incidence scattering coefficients. Building Acoustics, 14(2), 123–132, 2007.
- [5] Vorländer M., Mommertz E., Definition and Measurement of Random-incidence Scattering Coefficients, Applied Acoustics 60(2), 187-199, 2000.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: SBA-2025-3701

SAĞLIK TEKNOLOJİLERİNİN AKUSTİK YÖNÜYLE İNCELENMESİ

Baki Karaböce¹, Hüseyin Okan Durmuş²

¹⁻²TÜBİTAK UME, Gebze, Kocaeli, Türkiye

e-posta: baki.karaboce@tubitak.gov.tr, huseyinokan.durmus@tubitak.gov.tr

ÖZET

Akustik ve ultrason teknolojileri, modern tıpta tanı, tedavi ve destekleyici bakım alanlarında kritik roller üstlenmektedir. Ultrasonografi ve Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme yöntemleri girişimsel olmayan özellikleri ile öne çıkarken, tedavi alanında böbrek taşı kırma tedavisinde kullanılan ultrason cihazları ise doku rejenerasyonu ve ağrı yönetiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bazı medikal cihazların –örneğin MR cihazları, taş kırma üniteleri veya ultrasonik temizleyiciler– çalışma sırasında yüksek düzeyde gürültü üretmesi, hem hasta konforu hem de çalışan sağlığı açısından akustik riskler doğurmaktadır. MR cihazları özellikle gradient bobinlerinin hızlı anahtarlanması nedeniyle 110 dB(A)'e kadar çıkan sesler üretir. Bebek küvözlerinde ise iç ortamda rezonansa giren ve kulak zarına zarar verebilecek düzeyde sesler oluşabilir. Bu çalışmada, sağlık alanında kullanılan başlıca akustik ve ultrasonik sistemler, bu cihazların fiziksel ve teknolojik prensipleri, potansiyel zararları ve akustik iyileştirme çözümleri incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akustik, ultrasonik, MR, gürültü, medikal cihazlar.

ACOUSTIC EXAMINATION OF HEALTH TECHNOLOGIES

ABSTRACT

Acoustic and ultrasound technologies are playing critical roles in the fields of modern diagnosis, treatment and supportive care. Ultrasonography and Magnetic Resonance (MR) imaging devices have the advantage of non-invasive features, while ultrasound devices used in the treatment of kidney stones in the field of treatment are preferred for tissue regeneration and pain management. At the same time, some medical devices - such as MRI devices, stone crushing units and ultrasonic cleaners - pose acoustic risks to patient comfort and worker health during their operation. MR devices, especially gradient coils, produce sounds up to 110 dB(A)'e. In newborn incubators, however, there may be sounds that resonate inside the chamber and can damage the eardrum. In this study, acoustic and ultrasonic systems mainly used in the healthcare field, the physical and technological principles of these devices, potential harms and acoustic improvement solutions are elaborated..

Keywords: Acoustic, ultrasonic, MR, noise, medical devices.

1. GİRİŞ

Akustik ve ultrasonik (20 kHz üstü frekanslardaki sesler) teknolojiler, tıpta hem tanı hem de tedavi amaçlı geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, girişimsel olmayan yapıları ve hedef odaklı etkileri sayesinde hasta konforunu ve tedavi etkinliğini artırmaktadır [1]. MR cihazları, vücudun içyapısını görüntülemek için güçlü bir manyetik alan oluşturur ve bu manyetik alanı hızlı bir şekilde değiştirerek radyo frekansı darbeleri gönderir. Kan damarları, dokular, organlar daha net görüntülenir. Omurilik ve beyin görüntülenmesinde sıklıkla kullanılır. Ayrıca yumuşak doku ve sinir sistemine de ilaçlı MR ile bakılabilmektedir. Özel kimyasal ajan ile kullanıldığında MR, doku ve organların daha detaylı görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Yeni doğan ünitelerinde kullanılan bebek küvözleri ise küçük alanları, düz ve yansıtıcı iç yüzeyleri ve bazılarının bombeli yapısı nedeniyle, iç ortamda oluşan gürültü rezonansa girerek amplifikasyona uğrayabilir. Yenidoğan işittiği sese karşı, kalp hızı ve solunumunda değişiklikler şeklinde yanıt vermekte, gürültüye maruz kaldığında rahatsız olmaktadır [2,3]. Bununla birlikte, bazı cihazların çalışma sırasında ortaya çıkardığı yüksek düzeydeki gürültüler hem hasta sağlığını hem de sağlık personeli olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bildiride, akustik ve ultrasonik teknolojilerin medikal kullanımları, bu cihazların çalışma prensipleri, oluşturdukları ses düzeyleri ve neden oldukları sorunlar ile birlikte bu sorunlara yönelik çözümler tartışılmaktadır.

2. SAĞLIK TEKNOLOJİ CİHAZLARI

Medikal alanda kullanılan teşhis ve tedavi cihazlarının akustik değerlendirmesi hem cihaz güvenliği hem de hasta konforu açısından büyük önem taşır. Bu değerlendirme ses kaynakları, gürültü türleri, gürültü nedenleri ve özellikleri Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te listelenmiştir. Medikal cihazlarda ses; mekanik, elektromekanik veya akustik sinyal üretimi sonucu ortaya çıkar. Üretilen gürültü türü, cihazın işlevine ve tasarımına göre değişir ve gürültü farklı enerji dönüşüm mekanizmalarından doğar [4-9].

Tablo 1. Gürültü türlerine göre medikal cihazlar

Tür	Özellik	Örnek Cihazlar	Açıklama
Sürekli gürültü	Zamanla değişimi az, sabit karakterde ses	Ventilatör, aspiratör, diyaliz pompası	Motor, fan veya hava akışı kaynaklı, genellikle düşük frekanslı (50 Hz – 500 Hz)
Periodik gürültü	Belirli aralıklarla tekrarlayan ses veya titreşim	Enjektör pompası, kan alma cihazı	Basınç regülasyonu, valf açma-kapama olayları sonucu oluşur
Darbeleri / ani gürültü	Kısa süreli, yüksek genlikli ses patlamaları	MRI gradient bobinleri, cerrahi kesici cihazlar, defibrilatör	Kısa süreli manyetik veya elektriksel kuvvetlerle oluşan akustik şok etkileri
Tonal gürültü	Belirli bir frekansta veya birkaç dar bantta yoğunlaşmış ses	Alarm sistemleri, infüzyon pompaları	Uyarı amaçlıdır; genellikle 500 Hz – 3000 Hz arasında.
Geniş bant gürültü	Geniş frekans aralığına yayılmış, sürekli karakterli ses	Ultrasonik cihazlar, bazı sterilizatörler, bebek küvözleri	Mekanik titreşimler, hava akışı veya rezonans etkileriyle oluşur

Tablo 2. Gürültü kaynağı bazına göre medikal cihazlar

Gürültü Kaynağı	Açıklama	Frekans Aralığı	Örnek Cihazlar
Mekanik sistemler	Rulman, fan, valf, pompa, motor titreşimleri	50 Hz – 2000 Hz	Ventilatör, diyaliz makinesi, pompa sistemleri
Hidrolik / pnömatik sistemler	Akışkan geçişi, basınç dalgalanmaları, valf açma-kapama sesleri	200 Hz – 5000 Hz	Anestezi cihazları, enjektör pompaları
Elektromekanik sistemler	Manyetik alan değişimleri, titreşimli bobinler, motor sürücüleri	100 Hz – 10 kHz	MRI gradient bobinleri, ultrason dönüştürücüleri
Elektronik devreler ve alarmlar	Piezo buzzer, hoparlör, dijital uyarı sistemleri	500 Hz – 4000 Hz	Defibrilatör, monitör, pompa uyarı sistemleri
Titreşim kaynaklı yapısal ses	Cihaz kasasında veya montaj elemanlarında rezonans	100 Hz – 2000 Hz	Her türlü mekanik sistemde, özellikle metal gövdeli cihazlarda

Tablo 3. Frekans, SPL ve gürültü türüne göre gürültü kaynakları

Cihaz Türü	Ortalama SPL [dB(A)]	Baskın Frekans [Hz]	Gürültü Türü	Not
Ventilatör	55–65	100–300	Sürekli	Fan ve hava akışı kaynaklı
MRI	90–115	200–2000	Darbeleri / ani	Gradient bobin titreşimleri
İnfüzyon pompası	50–60	1000–2000	Tonal / aralıklı	Alarm ve valf sesi
Ultrasonik temizleyici	70–85	25–40000	Sürekli (ultrasonik)	İnsan kulağının üst sınırında
Diş / cerrahi drill	80–100	2000–10000	Sürekli (narrowband)	Motor ve hava basıncı kaynaklı
Defibrilatör	65–85	500–2000	Ani / alarm tipi	Elektriksel deşarj sonrası alarm
Taş Kırma (ESWL)	100–110	25000 ve üzeri	Darbeleri / ani	Akustik şok dalgaları
Küvöz (bebek içerideyken)	60–90	200 - 16000	Sürekli	Bebek ağlaması ve alarmlar etkili

Ultrasonik teşhis ve tedavi cihazları, Manyetik rezonans görüntüleme cihazları ve bebek küvözleri incelemesi örnek birer çalışma olarak aşağıda detaylı verilmiştir.

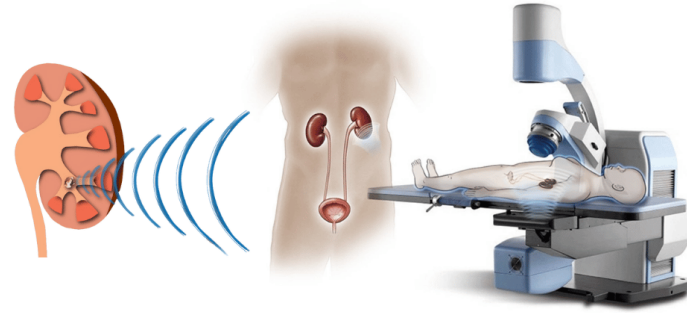
2.1. Ultrasonik teknolojileri ve sağlık uygulamaları

Terapötik Ultrason cihazlarında kullanılan ultrasonik dalgalar, yumuşak dokularda mikro-masaj etkisi oluşturarak dolaşımı artırmakta ve iyileşmeyi hızlandırmaktadır. Bununla birlikte, yanlış doz ve süre kullanımı durumunda doku hasarı, ödem veya sinir tahrişi gibi yan etkiler oluşabilir.

Yüksek frekans akustik dalgalara maruz kalmak ihtimali vardır. Şekil 1’de görülen ESWL, böbrek taşlarını parçalamak için odaklanmış akustik darbeler kullanan bu sistemler, yoğun ses

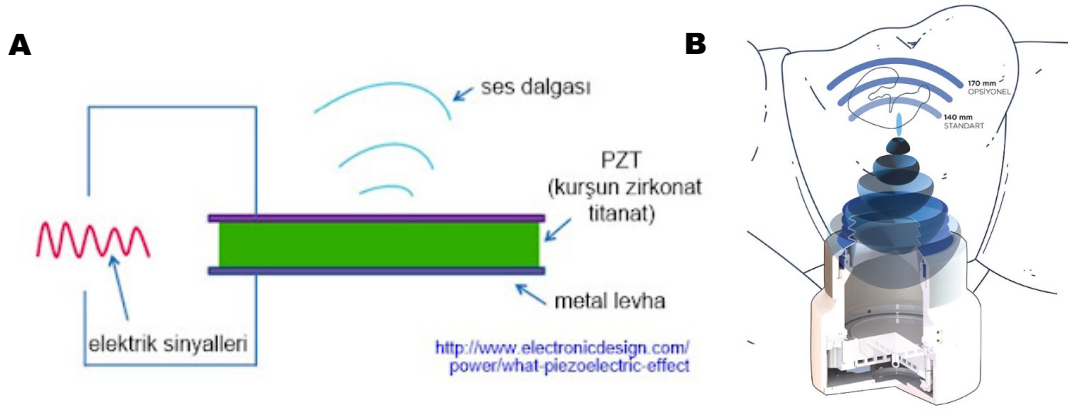
darbeleri nedeniyle uygulama sırasında 100 dB(A) - 110 dB(A)'yı aşan sesler üretebilir [10, 11].

Yüksek frekans ses dalgaları üretmek için Şekil 2'de A'da görüldüğü gibi piezoelektrik kristaller (örneğin PZT-Kurşun-Zirkonat-Titanat) kullanılabilir. PZT ilgili rezonans frekansında güç devreleri ile sürülerek titreşirler ve Şekil 2'de B'de görüldüğü gibi ortamda yüksek frekans (20 kHz – 10 MHz aralığında) ses basıncı oluştururlar.



Şekil 1. Böbrek taşı kırma probu ve sistemi (ESWL)

Çalışma sırasında 80 dB(A) - 100 dB(A) aralığında gürültü oluşturabilir. Bu gibi cihazlar uzun süreli kullanımda arka plan gürültüsü oluşturarak yetişkinler için rahatsızlık verebilir ve duyuşsal stresi tetikleyebilir. Şekil 2'de görülen sistemdeki gibi prop olarak ya PZT kristal ya da darbeli sistem ile ortamda yüksek gürültü oluşabilir.



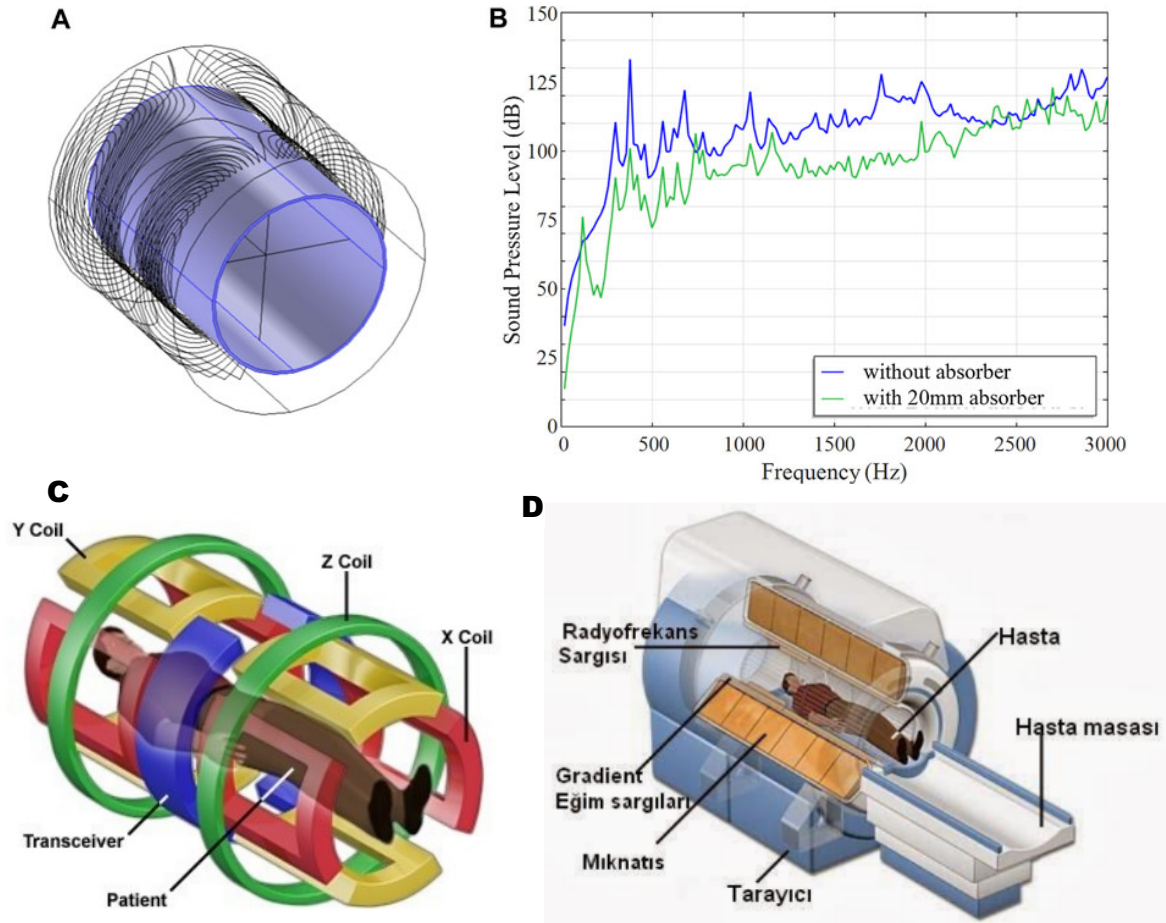
Şekil 2. Piezoelektrik kristallerle yüksek frekanslı ses üretimi

2.2. Manyetik rezonans teknolojilerin medikal uygulamaları

Manyetik Rezonans (MR) Cihazları MR cihazları, işlem sırasında gradient bobinlerinin hızlı anahtarlanması nedeniyle genellikle 90 dB(A) - 120 dB(A) aralığında ses oluşturur. Bu, jet motoru gürültüsüne eşdeğerdir ve hastalarda kaygı, kulak ağrısı, hatta geçici işitme kaybı gibi etkiler yaratabilir [12-15].

MR cihazları, vücudun iç yapısını görüntülemek için güçlü bir manyetik alan oluşturur ve bu manyetik alanı hızlı bir şekilde değiştirerek radyo frekansı darbeleri gönderir. Bu süreçte, manyetik alanın hızlı ve ani değişimleri cihazın içindeki metal bileşenlerin titreşmesine neden olur. Bu titreşimler, genellikle hızlı ve yüksek frekansta tekrarlayan tıklama ve vurma sesleri

olarak duyulur. Manyetik alanın bu ani değişimleri sırasında, gradient bobinleri adı verilen Şekil 3'te A'da görülen elektromıknatıslar kullanılır ve B'de görüldüğü gibi 100 dB(A)'nın üzerinde gürültü oluşturur. Bu bobinler, manyetik alanın yönünü ve gücünü hızla değiştirmek için elektrik akımlarıyla beslenir. Elektrik akımlarının ani değişimleri, bobinlerin mekanik olarak titreşmesine neden olur ve bu titreşimler, Şekil 3'te C ve D'de görüldüğü gibi MR cihazının içindeki metal yapıların ve çevresindeki hava moleküllerinin hareketiyle birleşerek yüksek sesli ve bazen rahatsız edici sesler üretir.



Şekil 3. MR cihazlarında hızlı çalışan gradient bobinleri ve gürültü

2.2. Bebek küvözlerinin akustik incelemesi

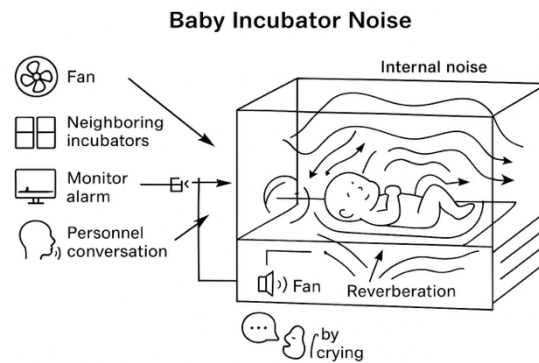
Prematüre doğan yenidoğanlar özel bakıma ihtiyaç duyar ve günlerce, hatta bazen aylarca, bebeklerin kardiyovasküler fonksiyonlarını ve vücut ısısı düzenlemelerini destekleyen ve kontrol eden inkübatörlerde kalırlar. Bu cihazlar, alarmlar, şalterler ve fanlar gibi gürültü kaynakları içerir. Bu tür çevresel gürültünün dinlenme ve uykuyu bozduğu, uzun süreli işitme kaybına yol açabileceği ve daha kötü nörolojik gelişim için potansiyel bir risk faktörü olduğu bilinmektedir [16-18].

Bebek küvözlerinde gürültü hem dış çevreden gelen hem de iç ortamda oluşan ses kaynaklarının etkileşimiyle ortaya çıkar. Dış gürültü, hastane ortamındaki diğer tıbbi cihazların (örneğin vantilatör, aspiratör, monitör alarmları) ve komşu küvözlerin çalışmasından, personel hareketlerinden ve konuşmalardan kaynaklanır. Bu sesler küvöz kabin duvarlarından kısmen sızarak iç ortama ulaşır. İç gürültü ise küvöz içerisindeki hava

akımı, fan motoru, sıcaklık kontrol sistemleri ve özellikle bebeğin ağlaması gibi kaynaklardan doğar. Bebeğin ağlama sesi, küvözün plastik kabin yüzeylerinde yankılanarak (reverberasyon) ve hacmin küçük olması nedeniyle sesin sönümlenememesi sonucu Şekil 4'te görüldüğü gibi daha da şiddetlenir. Bu durum, iç ortam gürültü düzeyinin 60 dB(A) – 70 dB(A)'ya kadar yükselmesine ve bebeğin işitsel gelişimi ile uyku düzeninin olumsuz etkilenmesine yol açabilir. Bu nedenle, akustik izolasyon, düşük gürültülü fan tasarımları ve ses emici iç yüzey kaplamaları, küvöz tasarımında kritik öneme sahiptir [19-21].

Bebek küvözleri, prematüre ya da hasta olarak doğmuş bebeklerin, hastalıklardan korunması amacıyla, gelişimlerini tamamlayana kadar ki süreçte bakımlarının yapıldığı, sıcaklık, nem, akustik, hava akışı, oksijen gibi parametrelerin kontrollü şekilde tutulduğu kapalı yaşam alanlarıdır [22,23]. TS EN 60601-2-19 Elektrikli Tıbbi Donanım - Bölüm 2-19: Bebek Küvözlerinin Temel Güvenliği ve Gerekli Performansı İçin Belirli Özellikler standardı, küvöz (infant incubator) ve benzeri yenidoğan destek cihazlarının güvenlik ve performans gerekliliklerini tanımlar. Bu standart kapsamında akustik ölçümler, cihazın ürettiği ses düzeyinin bebeğin işitme sağlığına zarar vermemesi ve konfor koşullarının sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Standart, ses basınç düzeyinin mikrofon aracılığıyla, genellikle bebek başının bulunduğu konumu temsil eden noktada ölçülmesini öngörür. Ölçüm ortamı, yansımaz veya düşük yansıtıcılığa sahip bir akustik odada ya da normal klinik ortam koşullarına benzer şekilde düzenlenmiş bir test alanında gerçekleştirilir. Mikrofon, cihaz çalışırken bebeğin baş merkezini temsil eden noktada ve yatay düzleme göre 10 cm – 15 cm mesafede, cihazın kapakları ve hava sirkülasyonu normal çalışma konumundayken yerleştirilir.

Ses basınç düzeyi genellikle A-weighting filtresi kullanılarak ve dB(A) cinsinden değerlendirilir. Ölçüm cihazının doğruluğu en az ± 1 dB(A) mertebesinde olmalı ve kalibrasyonu IEC 61672-1 Class 1 standartlarına uygun bir ses düzeyi ölçer ve akustik kalibratörle doğrulanmalıdır. Ölçümler, hem sürekli ses (steady-state) hem de geçici/darbelere dayalı ses (transient) koşullar altında yapılır. Elde edilen değerler, standardın belirttiği sınır olan 60 dB(A) (bazı modeller için 65 dB(A)) seviyesini aşmamalıdır.



Şekil 4. Bebek Küvözü ve Aktif Gürültü Kontrolü

3. AKUSTİK SORUNLARA YÖNELİK ÇÖZÜMLER

Medikal cihazlarda akustik gürültünün önlenmesi için yapılacak çalışmaları, ses kaynağında iyileştirmeler bazında (yapısında, bağlantılarda, çalıştırma tekniğinde, titreşim yalıtımının uygulanması bazında), yer aldığı mekân bazında ve kullanıcıya zararın önlenmesi bazında (hasta ve sağlık elemanları) incelenmiştir.

3.1. Ses kaynağında iyileştirmeler

Mekanik bileşenlerde tasarım iyileştirilmesi, dönme hızının optimizasyonu, yüzey malzemesi seçimi ve hava akış sistemlerinde iyileştirmeler uygulanabilir. Örneğin daha düşük gürültü ve titreşimli fan, pompa ve motor seçimi seçilebilir. Fan ve motor hızlarının frekansı, rezonans noktalarından uzak olmalıdır. Akustik sönümleyici veya titreşim emici kompozit malzemeler uygulanabilir, örneğin plastik veya çok katmanlı kompozit yüzeyler metalik gövdelere göre ses yayılımını azaltır. Akış yolu optimizasyonu yapılabilir, yumuşak geçişli kanallar tasarlanabilir. Böylece türbülans kaynaklı uğultuların ve valf seslerinin azaltılması sağlanır.

3.2. Yapısal, bağlantısal ve titreşim yalıtımı bazında iyileştirmeler

Titreşim izolasyonu, montaj bağlantılarında gevşeklik önleme, kapsülleme/kabinleme ve hava çıkışlarında susturucu (silencer) kullanımı ile önemli ölçüde gürültü azaltılması yapılabilir. Motor, kompresör, pompa gibi bileşenlerden gövdeye titreşim iletimini lastik takozlar, sönümleyici ayaklar ve silikon bağlantı elemanları azaltır. Vidalı veya kaynaklı bağlantıların kontrolü ile mekanik gevşeklik “klik” ve “çınlama” sesleri önlenir. Özellikle motor veya pompa bölümleri için gürültü yalıtımlı muhafazalar ve çok katmanlı paneller akustik sönümleme sağlar. Pnömatik sistemlerde ses yutucu filtrelerin kullanımı, basınç tahliyesi sırasında ani hava gürültüsünü bastırır.

3.3. Cihazın yer aldığı mekan ve ortam düzenlemeleri

Oda akustiği, cihaz konumlandırması, zemin izolasyonu ve klima kontrolü ile ortamda yapılacak düzenlemeler daha konforlu bir akustik ortam oluşturabilir. Özellikle yoğun bakım ve ameliyathanelerde ses yutucu tavan ve duvar panelleri yankılanım ve gürültü birikimini azaltır. Gürültü kaynağının duvar veya hasta yatağından uzaklaştırılması ile ses basınç düzeyinde logaritmik azalma sağlanabilir. Vibrasyon geçirmeyen platformlar, süspansiyon sistemler, titreşimin bina yapısına ve komşu odalara iletilmesini engeller. Klinik ortamlarda, sessiz fanlar, akustik kanallar arka plan gürültüsünün sabit tutulmasını sağlar (<40 dB(A)).

3.4. Kullanıcı ve hastaya zararı önleme yaklaşımı

Hastaya yönelik önlemler, kullanıcıya yönelik önlemler, eğitim ve farkındalık, kişisel koruyucu donanım kullanımı gibi insan faktörü odaklı önlemler gürültünün azaltılmasında önemli bir yaklaşım sağlayabilir. Gürültüye maruziyetin sınırlandırılması, küvöz içi ses emici astar kullanımı gibi uygulamalar, yenidoğan cihazlarında <60 dB(A) sınır; kulak koruyucu veya pasif sönümleme uygulanabilir. Operatör kabininde akustik bariyer, yönlendirilmiş alarm sistemleri ile sağlık personelinin uzun süreli yüksek ses maruziyeti (<80 dB(A)) engellenebilir. Gürültü kaynağına yakın çalışma süresinin sınırlandırılması ve gerekli durumlarda kulak tıkaçları önemli faydalar sağlar. Medikal cihazlarda gürültü kontrolü, yalnızca konfor değil, aynı zamanda hasta güvenliği ve işitme sağlığı açısından da bir gerekliliktir. En etkili strateji, “kaynağında kontrol” ilkesidir: gürültü oluşmadan önce önlem almak. Bu nedenle tasarım sürecinde akustik analiz (ör. modal analiz, akustik FEM, frekans yanıt ölçümleri) erken aşamalarda uygulanmalıdır. Uygulamada ise IEC 60601-1-8, IEC 60601-2-19, ISO 3744 ve ISO 7779 standartları referans alınmalıdır.

Taş kırma (ESWL) ultrasonunun potansiyel zararları yanlış kullanım durumunda derin dokularda aşırı ısınma, protein denatürasyonu, sinir hasarı veya doku ödemi oluşabilir.

Özellikle periferik sinirler ve kemik doku yakınında dikkatli kullanılmalıdır. Geçici veya kalıcı işitme kayıplarını önlemek için uygun kulaklıklar mutlaka kullanılmalıdır.

Bebek küvözlerinde akustik problemler küvöz içinde rezonans nedeniyle 60 dB(A) bulan ve anlık 85 dB(A)'i aşan gürültüler oluşabilir. Bu düzeyler, yeni doğanın hassas işitme sistemini olumsuz etkileyebilir. Gürültü, solunum cihazları, alarm sesleri ve ventilatörler tarafından tetiklenmektedir. Küvöz kapak yapısı daha çok pleksiglas malzemeden üretilmiştir ve özellikle iç yüzeyler pürüzsüzdür. Bu yapı içerideki bebeğin hem görülmesine fayda sağlar hem de hijyenik şartları ve temizliği kolaylaştırır, ancak bu ortam yankılayıcı-yansıtıcı bir ortamdır sesin yükselmesine zemin hazırlar [24-28]. Küvöz kapak iç yapısının yutucu özelliğinin artırılması ve aktif gürültü kontrolü yapılması ile gürültü azaltımı sağlanabilir.

MR görüntüleme cihazlarında gürültü azaltımı için bazı yaklaşımlar şu şekilde sıralanmıştır [29-31]:

- Sessiz görüntüleme sekansları (quiet/whisper/silent sequences)
- Gradient bobini yapısal modifikasyonları
- Aktif gürültü kontrolü (ANC)
- Pasif yöntemler, örneğin akustik kaplama gibi

Pasif Yalıtım Teknikleri Duvar içi yüzeyler ve cihaz kasalarında akustik sünger, panel veya titreşim yutucu malzeme kullanımı ile gürültü azaltılabilir. Aktif Gürültü Kontrolü (ANC) Özellikle MR ve küvöz sistemlerinde kullanılan bu yöntemle, sesin ters fazında dalga üretilerek toplam ses seviyesi düşürülür. Kullanım Protokolleri ve Standartlar ISO 3744 ve IEC 60601 gibi standartlar, medikal cihazların akustik güvenlik limitlerini belirlemekte ve ölçüm yöntemlerini tanımlamaktadır [32-34]. MR cihazlarında, hastaları bu seslerden korumak için genellikle kulak tıkaçları veya kulaklıklar kullanılır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tıpta akustik, ultrasonik ve manyetik rezonans görüntüleme teknolojilerin kullanımı hem tanı hem de tedavi açısından vazgeçilmez bir yere sahiptir. Ancak bu cihazların oluşturduğu gürültüler, özellikle hassas hasta grupları için risk oluşturabilmektedir. Şimdilik uygun kulaklık ve tıkaçlarla çeşitli çözümler sağlanmakla birlikte, gelecekte daha sessiz çalışan sistem tasarımları, aktif ses kontrol teknolojileri ve akustik ergonomi ilkeleri, medikal ortamlarda hasta konforunu ve güvenliğini artıracaktır.

Gelecek çalışmalarına “Yeni nesil sessiz MR teknolojileri”, “biyonik kulaklar (koklear implant, beyin sapı implantı ve işitme protezleri) için akustik risk değerlendirmesi”, “akustik metroloji yöntemleri” gibi araştırma önerileriyle bitirmek faydalı olabilir. Cihaz gürültüsünü azaltmanın en etkili yolu kaynağı mühendislikle azaltmak (MR: quiet sequences / silent gradients; küvöz: sessiz motor/yalıtım; ultrasonik: enclosures) ve bunu pasif koruma + akustik/işitsel ergonomi (alarm redesign, adaptif sesler, visual alerts) ile kombine etmektir. Alarm yönetimi ve görsel önlemlerin ise klinik algı ve güvenlik üzerinde yüksek etkisi olduğu söylenebilir. Hızlı, düşük maliyetli önlem: hasta/çalışan için pasif koruma (kulak tıkacı + kulaklık), cihaz etrafında basit yalıtım, alarm görselleştirme tüm cihazlar için uygulanabilir. Orta vadeli, yüksek etki (cihaz bazlı) ise örneğin MR için quiet pulse sequences veya silent-gradient donanımı, küvözler için motor/fan yeniden tedariki ve daha iyi iç yalıtım ve ultrasonik cihazlar için kapsülleme düşünülebilir. Sistem/organizasyonel alarm politikaları, eğitim, smart alarm tuning — özellikle infüzyon pompalarında maliyeti düşük ve etkili olduğu görülüyor.

KAYNAKLAR

- [1] Kremkau, F. W. (2015). Diagnostic Ultrasound: Principles and Instruments. Elsevier Health Sciences.
- [2] Wachman EM, Lahav A. The effects of noise on preterm infants in the NICU. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2011 Jul;96(4):F305-9. doi: 10.1136/adc.2009.182014. Epub 2010 Jun 14. PMID: 20547580.
- [3] Arslan, S. et al. (2025). Noise prevention strategies among neonatal intensive care unit nurses. PubMed PMID: 40730977.
- [4] Vitoux, R. R.; Kurnat-Thoma, E.; Shah, S. “Perceptions / measurements of infusion pump alarms and sound levels (survey and measurement studies)”. (derleme / orijinal çalışma; infusion-pump alarm ses ölçümleri ve algılanması), 2018. PMC.
- [5] Waterson, J.; Tipton, K.; vb. “Types and Frequency of Infusion Pump Alarms and Association with Nurse Workload / Environmental Noise” (çalışma/derleme). Journal article (2019) Alarm ve pompa sesleri üzerine ampirik veri ve frekans analizi. PMC.
- [6] Nakagawa, K.; Sone, E.; Oki, M. “Effects of changes in the volume of automated external defibrillator audio guidance on audibility: a pilot usability study”. J EMS Med, **3(3)**, 68–73, 2024. jemsmed.org.
- [7] Cieślak, M.; et al. “Development of a Personal Ultrasound Exposimeter for measurement of ultrasonic/ultrasonic-range noise in workplaces (relevant for ultrasonic cleaners and industrial ultrasound)”. International Journal / PMC article, 2021. PMC
- [8] Mariconte, R.; Radosz, J. “Ultrasonic noise / occupational exposure: reviews and methods for ultrasonic noise measurements (cleaners, industrial ultrasonic sources)”. (konferans / kitap bölümü / teknik rapor). 2021–2023 (metot ve değerlendirme örnekleri). icben.org+1.
- [9] Güngör, S. “Effects of Noise on Vital Signs and Anxiety Levels: ölçümler arasında monitör, ventilatör ve infüzyon pompası alarm seviyeleri (örnek ölçümler: infüzyon pompası $\approx$ 83–86 dB)”. International Journal of Caring Sciences (çalışma), 2021. internationaljournalofcaringsciences.org.
- [10] Lusk, R. P., Tyler, R. S “Hazardous sound levels produced by extracorporeal shock wave lithotripsy”. The Journal of Urology (J Urol), 137(6), 1113–1114, 1987. PubMed.
- [11] Terlecki, R. P. et al. “A contemporary evaluation of the auditory hazard associated with extracorporeal shock wave lithotripsy” (auditory/noise exposure during ESWL). (2007). PubMed.
- [12] Seidel, H. et al. (2000). Acoustic noise during MR imaging: A study on the effectiveness of passive noise protection. Magnetic Resonance Imaging, 18(3), 343–350.
- [13] Shtrepi, L. et al. (2023). Acoustic noise levels and field distribution in 7 T MRI scanners. Frontiers in Physics. DOI: 10.3389/fphy.2023.1284659.
- [14] Shellock, F. G., Morisoli, S., Ziarati, M. “Measurement of acoustic noise during MR imaging: evaluation of six ‘worst-case’ pulse sequences”. Radiology, 191(1), 91–93, 1994. PubMed.
- [15] McJury, M., Blug, A., Joerger, C., Condon, B., Wyper, D. “Short communication: acoustic noise levels during magnetic resonance imaging scanning at 1.5 T”. British Journal of Radiology, **67(796)**, 413–415, 1994. PubMed.

- [16] Fernández-Zacarias, F.; Beira-Jiménez, J. L.; Puyana-Romero, V.; Hernández-Molina, R. “Diagnosis of Noise Inside Neonatal Incubators under Free-Field Conditions”. *Acoustics*, 5(2), 354–366, 2023. MDPI.
- [17] Kuhn P., Zores C., Langlet C., Escande B., Astruc D., Dufour A. Moderate acoustic changes can disrupt the sleep of very preterm infants in their incubators. *Acta Paediatr.* 2013;102:949–954. doi: 10.1111/apa.12330.
- [18] Wroblewska-Seniuk K., Greczka G., Dabrowski P., Szyfter-Harris J., Mazela J. Hearing impairment in premature newborns-Analysis based on the national hearing screening database in Poland. *PLoS ONE*. 2017;12:e0184359. doi: 10.1371/journal.pone.0184359.
- [19] Philbin, M. K., & Robertson, A. (1997). Sound environments and auditory perception in intensive care units for infants. *Clinics in Perinatology*, 24(4), 915–937.
- [20] Oëkberg, B., & Lindström, B. (2005). Noise inside incubators and the influence of incubator design. *Acta Paediatrica*, 94(11), 1734–1741.
- [21] Darcy, A. E., Hancock, L. E., & Ware, E. J. (2008). A descriptive study of noise in the neonatal intensive care unit: Ambient levels and perceptions of contributing factors. *Advances in Neonatal Care*, 8(5), 165–175. Perlman J.M. Neurobehavioral deficits in premature graduates of intensive care—potential medical and neonatal environmental risk factors. *Pediatrics*. 2001;108:1339–1348. doi: 10.1542/peds.108.6.1339.
- [22] Rodríguez-Montaña, V. M. et al. “Acoustic conditioning of the neonatal incubator compartment: Improvement proposal”. *Frontiers in Pediatrics*, 10:955553, 2022. *Frontiers*.
- [23] Rossi, R. et al. (2025). Understanding Noise Level in a Newborn Intensive Care Unit. *PubMed PMID: 40564715*.
- [24] Devaramani, V. (2025). A Quality Improvement Initiative to Reduce the Noise in NICU. *SAGE Journals*. DOI: 10.1177/09732179241299955.
- [25] Fucile, S. et al. (2023). Noise reduction in the neonatal intensive care unit. *ScienceDirect*. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2022.105715.
- [26] Mayhew, S. (2022). Elevated Sound Levels in the Neonatal Intensive Care Unit. *Advances in Neonatal Care*. PMID: 35446264.
- [27] Cochrane (2024). Noise or sound management in neonatal intensive care units. *Cochrane Library*. https://www.cochrane.org/evidence/CD010333_what-are-benefits-and-harms-noise-or-sound-management-neonatal-intensive-care-unit-preterm-or-very.
- [28] Glans, J. (2024). Evaluation of Software-Optimized Protocols for Acoustic Noise Reduction. *PubMed PMID: 40048635*.
- [29] Boulant, N. (2024). Acoustic noise reduction in the NexGen 7 T scanner. *PubMed PMID: 39004827*.
- [30] Motovilova, E. et al. (2022). Overview of Methods for Noise and Heat Reduction in MRI. *PubMed PMID: 36506821*.
- [31] Glans, J. et al. (2024). Managing acoustic noise within MRI. *PubMed PMID: 38603992*.
- [32] IEC 60601 Medical Electrical Equipment Standards.
- [33] American Academy of Pediatrics (AAP). (2007). Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn.
- [34] ISO 3744: Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources.

YENİLENMİŞ IEC 61094-2 STANDARDININ SES BASINÇ BİRİMİNİN ULUSAL STANDARDINA ETKİSİ

Enver Sadıkoğlu¹, Eyüp Bilgiç²

¹⁻²TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Türkiye
e-posta: enver.sadikoglu@tubitak.gov.tr; eyup.bilgic1875@gmail.com

ÖZET

Akustik ölçümlerinin metrolojik izlenebilirlik temelini oluşturan ses basınç biriminin ulusal standardı dünyadaki ülkelerin büyük çoğunluğunda IEC 61094-2 standardında göre oluşturulmaktadır. IEC 61094-2'ye göre standardın oluşturma şekli mikrofonların karşılıklı yöntemle kalibrasyonu üzerinden tarif edilmektedir. Yöntemin teorik esaslarına göre mikrofon kalibrasyonlarının 1 Hz frekansına kadar düşük belirsizlikle gerçekleştirme imkanı bulunmaktadır. Ancak pratikte 10 Hz'den itibaren özellikle ısı iletimi düzeltilmesi ve sızdırma sorunları nedeniyle problemler yaşanmaktadır. Tarif edilen sorunlar büyük bir ölçüde Infra-AUV olarak adlandırılan AB destekli araştırma projesi kapsamında çözülmüş ve elde edilen bulgular var olan standardının değiştirilmiş IEC 61094-2:2009/AMD1:2022 versiyonunda tarif edilmiştir. Bu bildiride revize edilerek standardın yürürlüğe girmiş sürümüne göre TÜBİTAK UME'de yapılmış olan çalışmalar ile ilgili bilgiler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ses basınç birimi, karşılıklı kalibrasyon yöntemi, akustik metrolojisi.

IMPACT OF REVISED IEC 61094-2 STANDARD TO THE NATIONAL STANDARD OF SOUND PRESSURE UNIT

ABSTRACT

In great majority of countries worldwide national standard of sound pressure unit which constitutes the basis for metrological traceability for acoustical measurements is realized in accordance with IEC 61094-2 standard. IEC 61094-2 standard describes the way of realization of standard through calibration of microphones by reciprocity method. The theory of method enables calibration of microphones with low uncertainty down to 1 Hz. However, in practice heat conduction correction and pressure leakage generate substantial problems already around 10 Hz. The above-mentioned problems have been largely resolved within the scope of an EU-funded research project called Infra-AUV. Outcomes of the research leads to publication of amended version of the international standard, IEC 61094-2:2009/AMD1:2022. This paper presents information on the activities carried out by TÜBİTAK UME towards adoption of the revised version of the standard that has entered into force.

Keywords: Sound pressure unit, reciprocity calibration, acoustical metrology.

1. GİRİŞ

Ses basınç birimi akustik ölçümlerin sonuçlarının SI temel birimlerine metrolojik izlenebilirlik sağlaması açısından en önemli büyüklük olarak kabul edilmektedir. Gerçekleştirilen ses basıncı ölçümleri veya ses basıncı ölçümleri üzerinden ses gücü, ses şiddeti gibi büyüklüklerin değerlerinin belirlenmesinde elde edilen sonuçların güvenilirliğinin sağlanması için doğrudan veya dolaylı yolla ses basınç birimi standardına metrolojik izlenebilirliğinin sağlanması kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu durumda ulusal metroloji enstitüler tarafından oluşturularak muhafaza edilen ses basınç birimi standardının varlığı ve kalitesi ön plana çıkmış olmaktadır. Birim standardının kalitesinin ölçütü de standardın çalışma bölgesi, belirsizliği ve diğer ülkelerin standartları ile denklik dercesi ile belirlenmektedir.

Ses basınç birimi standardı tüm dünyadaki metroloji enstitüleri tarafından IEC 61094-1 [1] standardındaki tanıma uygun laboratuvar standardı mikrofonların (LS) karşılıklık (reciprocity) yöntemle kalibrasyonu üzerinden oluşturulmaktadır. Yöntem tüm ayrıntıları ile IEC 61094-2 [2] standardında tarif edilmiştir. Bu standart esas alınarak önde gelen metroloji enstitüler tarafından 1" mikrofonlar (LS1) için 1 Hz – 10 kHz, 1/2" çapındaki mikrofonlar (LS2) için ise 1 Hz – 25 kHz frekans aralıklarında birincil kalibrasyon yetenekleri oluşturulmuştur. Sunulan kalibrasyon hizmetlerinin veya başka deyişle ulusal ses basınç birimi standardının belirsizliği frekansa bağlı olarak 0,03 dB – 0,30 dB aralığında değişim göstermektedir.

Karşılıklık kalibrasyon yöntemi ile oluşturulmuş ses basınç birimi standardının çalışma bölgesi yıllar boyunca tatmin edici olarak kabul edilmiş olsa da 21.yüzyılın ilk yıllarında karşılıklık kalibrasyonlarının sadece 1 Hz'e kadar yapılması sorgulanmaya başlandı. Bu sorgulamanın temel nedeni deprem araştırmaları, çevre kirliliğinin gözlemlenmesine yönelik araştırmalarda işitilemeyen ses veya infra ses olarak adlandırılan ve birkaç mili Hertz frekanslara kadar inilebilecek frekans aralığında ses basınç ölçümlerinin yapılmasını zorunlu ihtiyaç haline gelmesidir. Doğal olarak bu ihtiyaç metroloji dünyasının önüne de ses basınç birimi standardının yukarıda anılan frekanslara kadar genişletilmesini çözülmesi gereken sorun olarak getirmiştir [3].

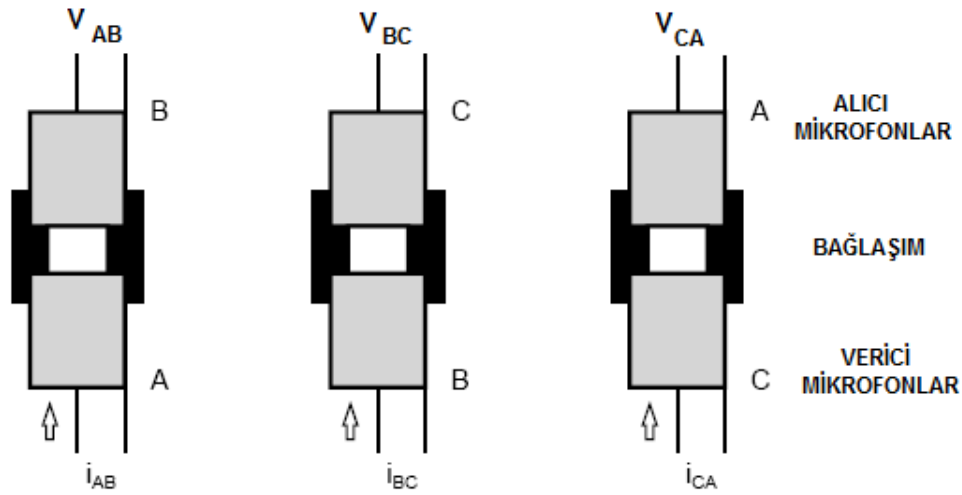
Karşılıklık kalibrasyon yönteminin teorisindeki bazı prensip ve varsayımlarla pratik uygulamalar arasındaki farklılıklar nedeniyle yöntem düşük frekans bölgesinde kullanımı sorunlar teşkil etmekte, 1 Hz frekansının altında ise kullanımı imkansız olarak kabul ediliyordu [4]. Bu duruma kalibrasyon sırasında ısı iletimi etkisi ve bu etkinin doğru ve geçerli kılınmış matematiksel model ile telafi edilememesinden kaynaklanıyordu [5]. Sorunun çözümüne yönelik AB desteği ile yürütülmüş olan "Alçak Frekanslarda Ses ve Titreşim İçin Metroloji" (Infra-AUV) [6] projesi sonucunda ısı iletimi için analitik ve güvenilir model bulunmuş ve bu model yürürlükte olan IEC standardının güncellenmesine yol açmıştır. Güncellenen standardın ulusal metroloji enstitülerin sahip oldukları mikrofonların karşılıklık yöntemi kalibrasyon yeteneklerini de etkilemiştir. Bu bildiride revize edilmiş IEC 61094-2 standardının ulusal ses basınç birimi standardı ve TÜBİTAK UME'nin karşılıklık yöntemle mikrofon kalibrasyon yeteneğine etkileri sunulmuştur.

2. KARŞILIKLIK KALİBRASYON YÖNTEMİ

IEC önerilerine uygun olarak tüm ulusal metroloji enstitüler tarafından birincil standart olarak laboratuvar standardı niteliğinde mikrofonları (Örneğin; HBK Brüel & Kjaer (Danimarka) firması tarafından üretilen 1" çapında Tip 4160 ve 1/2" çapında Tip 4180 mikrofonları)

kullanılmaktadır. Bunun nedenleri olarak bu tür mikrofonların oldukça yüksek hassasiyetleri, kararlılıkları ve ortam şartlarındaki değişimlere dayanıklılıkları gösterilebilir.

Laboratuvar standart mikrofonların birincil kalibrasyonları, karşılıklık yöntemiyle yapılmaktadır. Bu kalibrasyondaki amaç, ses basıncı etkisi altındaki mikrofonun çıkış terminallerinde oluşan gerilimi ölçmek ve mikrofonun hassasiyetini düşük belirsizlikle belirlemektir. Kalibrasyonda kullanılan üç mikrofon, ikili kombinasyon şeklinde birisi alıcı, diğeri ise verici olarak bir kapalı hacim içinde Şekil 1’de gösterildiği gibi birleştirildiğinde, alıcı mikrofonun terminallerindeki açık devre geriliminin verici mikrofondan geçen akıma oranı, V/i ölçülür.



Şekil 1. Karşılıklık kalibrasyon sırasında mikrofon ve bağlaşımların birleşimi [7]

S_{pA} ve S_{pB} basınç hassasiyetlerine sahip iki mikrofon Şekil 1’de gösterildiği gibi bir bağlaşım yardımıyla birleştirildiğinde, verici mikrofondan geçen i_{AB} akımı, $q = S_{pA} i_{AB}$ değerinde kısa-devre ($p=0$) hacim hızına neden olacaktır. Bunun sonucunda alıcı mikrofonun diyaframı $p_B = (Z_{ak})_{AB} S_{pA} i_{AB}$ ses basıncı etkisinde kalacaktır ve alıcı mikrofonun elektrik terminallerinde V_{AB} gerilimi oluşacaktır. Karşılıklık teoremine göre alıcı ve verici mikrofonların hassasiyetlerinin çarpımı için aşağıdaki ifade geçerlidir.

$$S_{pB} S_{pA} = \frac{1}{(Z_{ak})_{AB}} \frac{V_{AB}}{i_{AB}} \quad (1)$$

Eşitlikteki V_{AB}/i_{AB} oranı, A ve B mikrofonları ve bağlaşımdan oluşan sistemin elektriksel transfer empedansı, $(Z_{ak})_{AB}$ ise sistemin akustik transfer empedansı olarak adlandırılır. Böylece elektrik ve akustik transfer empedanslarının değerleri belirlendiğinde, iki mikrofonun hassasiyetleri çarpımının sonucu bulunur.

Mikrofonların elektrik transfer empedansları çeşitli yöntemlerle doğrudan ölçülebilir. İki mikrofon ve bağlaşımdan oluşan sistemin akustik transfer empedansı ise sistemin geometrisi dikkate alınarak hesaplanır.

$$\frac{1}{(Z_{ak})_{AB}} = \frac{1}{(Z_{ak})_A} + \frac{1}{(Z_{ak})_B} + \frac{1}{(Z_{ak})_{cp}} \quad (2)$$

Eşitlik (2)’de

$(Z_{ak})_A$: A mikrofonun akustik empedansı,

$(Z_{ak})_B$: B mikrofonun akustik empedansı,

$(Z_{ak})_{cp}$: bağlaşımın akustik empedansıdır.

Üç mikrofonla değişik alıcı-verici kombinasyonları için, mikrofonların hassasiyet çarpımları ($S_{pA} \cdot S_{pB}$, $S_{pA} \cdot S_{pC}$ ve $S_{pB} \cdot S_{pC}$) elde edilir. Bir başka ifadeyle, üç bilinmeyenli denklem sistemi oluşacaktır. Bu denklem sistemi çözüldüğünde her bir mikrofonun hassasiyetinin mutlak değeri hesaplanır:

$$S_{pA} = \sqrt{\frac{[S_{pA} S_{pB}] \times [S_{pA} S_{pC}]}{[S_{pB} S_{pC}]}} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'e göre belirlenmiş mikrofon hassasiyeti farklı etkilere göre düzeltilmiş olmalıdır. Uygulanacak düzeltmelerden en önemlisi ısı iletimi düzeltmesidir. İdeal koşullarda mikrofonlar ve bağlaşımın birleşimi ve tüm ölçümler adyabatik şartlar altında gerçekleştiği varsayılmaktadır. Orta (1 kHz civarında) ve yüksek frekanslarda bu varsayım geçerlidir. Ancak 500 Hz frekansından itibaren bağlaşım dışından içine ısı iletimi oluşmakta ve bu iletim bağlaşım içindeki ses basıncını ve doğal olarak ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.

3. KARŞILIKLIK KALİBRASYONLARDA ISI İLETİMİ DÜZELTMESİ

Mikrofonların karşılıklı kalibrasyonlarının sonuçlarına radyal dalga düzeltmesi, kılcal tüp düzeltmesi (kalibrasyon sırasında kullanılıyor ise) ve ısı iletimi düzeltmesi uygulanmaktadır. Bu düzeltmelerden en etkilisi ısı iletimi düzeltmesidir. Bu düzeltme için IEC 61094-2 standardının 2009 sürümünde tarif edilmiş iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar düşük frekans yaklaşımı ve geniş bant yaklaşımı olarak adlandırılmakta olup, her bir model için matematiksel formüller standartta belirtilmiştir. Ancak iki model arasında farkların olduğu çeşitli araştırmalarla ispatlanmış olup, yaklaşımlardan hiçbirisinin 1 Hz frekansının altında güvenilir sonuçlar vermediği literatürde raporlanmıştır [5, 8]. Bu nedenle dünyada önde gelen metroloji enstitülerin ses basınç birimi standardının oluşturulması için karşılıklı kalibrasyon yöntemini tercih ettiklerinde standardın frekans bölgesi 1 Hz ile sınırlı kalmıştır. Bazı enstitüler ise düşük frekans bölgesi için alternatif standart oluşturma araştırmalarına girmişler. Bu çalışmalardan bazıları optik temelli ses basınç biriminin doğrudan oluşturma ile sonuçlanmış olsa da [9-11] yeni yöntemlerle oluşturulmuş standartların ilgili ülkelerde ulusal standart olarak kullanılması henüz resmiyet kazanmamıştır.

Karşılıklı kalibrasyon yönteminde ısı iletimi problemini çözmek üzere 2020 yılında başlayıp 2023 yılında başarıyla tamamlanmış olan “Alçak Frekanslarda Ses ve Titreşim İçin Metroloji” (Infra-AUV) projesi kapsamında yoğun araştırmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilmiş çalışma sonucunda iki mikrofon ve bağlaşımından oluşan mekanik sistem için yeniden modelleme yapılmış ve tek bir düzeltme modeli olarak düşük frekans ısı iletimi düzeltmesi için matematiksel ifadeler geliştirilmiştir [8]. Geliştirilmiş matematiksel modelin geçerli kılma çalışmaları proje ortakları tarafından laboratuvarlararası karşılaştırma yoluyla sağlanmıştır. İlgili model IEC'nin TC 29 Elektroakustik teknik komitesi tarafından IEC 61094-2 standardına yeni bir Ek şeklinde dahil edilmiş ve 2022 yılı itibariye standardın yeni sürümü [2] yürürlüğe girmiştir.

4. IEC 61094-2 STANDARTININ REVİZYONUNUN ETKİLERİ

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından 1993 yılından beri ulusal ses basınç biriminin birincil düzeyde standardı mikrofonların karşılıklı yöntemle kalibrasyonu üzerinden oluşturulmuş ve muhafaza edilmektedir. Oluşturulmuş standardın diğer ülkelerin standartları ile denkliği katılım sağlanmış birçok uluslararası karşılaştırma yolu ile belirlenmiştir [12, 13]. Halen TÜBİTAK UME tarafından oluşturulmuş ses basınç biriminin ulusal standardı kullanılan mikrofon tipine bağlı olarak (LS1 veya LS2) 1 Hz -10 kHz veya 1 Hz – 31,5 kHz frekans aralığını kapsamaktadır. Oluşturulmuş standardın belirsizlik değeri genlik (magnitude) için 0,03 dB – 0,20 dB aralığında olup faz için 0,10 ° ile 2,00 ° aralığında değişim göstermektedir. Yıllar boyunca TÜBİTAK UME tarafından karşılıklı kalibrasyonlarda ısı iletimi düzeltmesi için IEC 61094-2 standardında geniş bant yaklaşımına dayalı düzeltme formülü kullanılmıştır. En son katılım sağlanmış olan CCAUV.A-K6 anahtar karşılaştırmasında 2 Hz frekansında TÜBİTAK UME'nin karşılaştırmanın referans değeri ile denklik derecesi genlik için 0.047 dB, faz için ise -0,381 ° olmuştur [14]. Böylece TÜBİTAK UME tarafından yapılan çalışmalarda bir hatanın olmadığı da teyit edilmiştir.

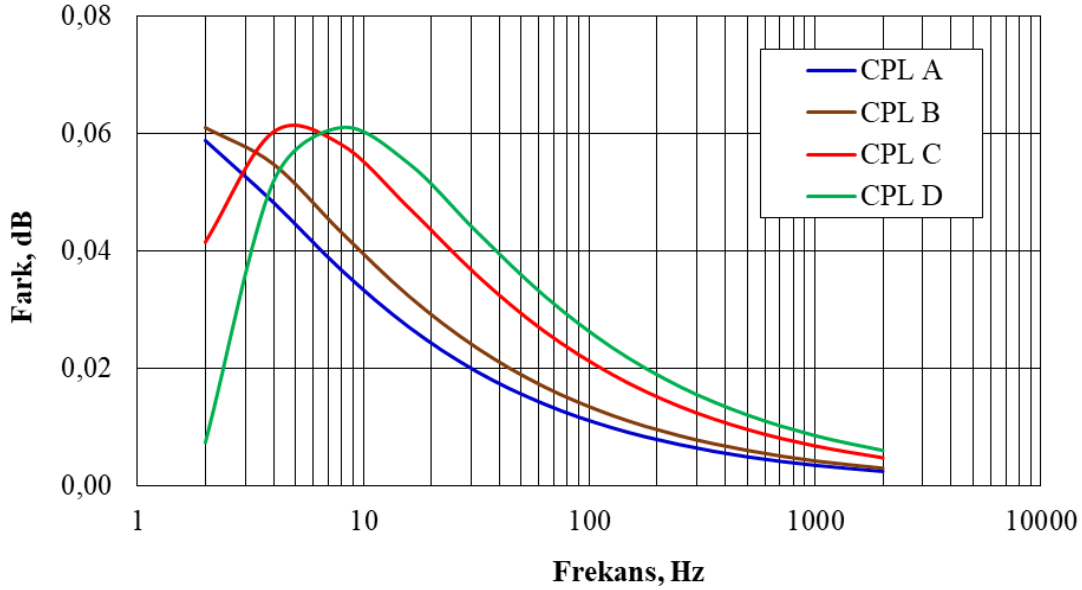
2022 yılında IEC standardının yeni sürümü yürürlüğe girdikten sonra 2009 yılı yaklaşımı ile 2022 yılı yaklaşımı arasındaki farklar TÜBİTAK UME tarafından incelenmiştir. IEC 61094-2 standardında [2] LS1 ve LS2 mikrofonları için en sık kullanılan ve özellikleri Tablo 1'de belirtilen düzlem dalga bağlaşımları için standardın eski ve yeni sürümlerindeki yaklaşımlara göre belirlenmiş ısı iletimi düzeltmeleri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Yapılmış olan hesaplamaların sonuçları Tablo 2 ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Isı iletimi düzeltmesi hesaplamaları yapılan bağlaşım bilgileri

Bağlaşım	CPL A	CPL B	CPL C	CPL D
Çap (mm)	9,3	9,3	4,65	4,65
Yükseklik (mm)	18,9	11,4	10,4	5,7

Tablo 2. Isı iletimi düzeltmeleri arasındaki farklar

Frekans / [Hz]	Isı iletimi Düzeltmesi, ΔH / [dB]			
	CPL A	CPL B	CPL C	CPL D
1,9953	0,059	0,061	0,042	0,007
3,9811	0,048	0,055	0,060	0,052
7,9433	0,037	0,043	0,058	0,061
15,849	0,027	0,032	0,047	0,055
31,623	0,020	0,024	0,036	0,043
63,096	0,014	0,017	0,026	0,032
125,89	0,010	0,012	0,019	0,024
251,19	0,007	0,009	0,014	0,017
501,19	0,005	0,006	0,010	0,012
1000	0,004	0,004	0,007	0,009
1995,3	0,003	0,003	0,005	0,006



Şekil 2. Isı iletimi düzeltmesindeki farkların frekansa göre değişimi

Tablo 2 ve Şekil 2’den görüldüğü üzere standardın yeni sürümüne göre hesaplanmış olan ısı iletimi düzeltmesinin kalibrasyon sonuçlarına 100 Hz frekansından itibaren kayda değer (genişletilmiş belirsizliğin 1/3’ü kadar) düzeltme gerektirdiği aşıkardır.

Bugün itibariyle TÜBİTAK UME tarafından karşılıklık yöntemle mikrofon kalibrasyonu hizmeti kurum dışında sadece tek bir müşteriye sunulmaktadır. Bu müşterinin kalibrasyon ihtiyacı 10 Hz frekans değeri ile sınırlıdır. Bunun dışında karşılıklık yöntemle TÜBİTAK UME tarafından sadece kendine ait mikrofonların kalibrasyonu yapılmaktadır. Isı iletimi düzeltmesi değerlerindeki farklar gürültü ölçümleri, ürün karakterizasyonu ölçümleri ve işitme testleri gibi uygulamalardaki belirsizlik değerleri dikkate alındığında bildiriye konu olan standart revizyonunun yaygın etkisinin çok düşük seviyede olduğu şekilde algılanabilir. Ancak değişikliğin ulusal standardı etkilediği ve ulusal standart ile kalibrasyonu yapılan çalışma standardı ve çalışma standartları ile müşterilere sunulan tüm hizmetleri doğrudan etkilediği tartışılmaz.

TÜBİTAK UME tarafından IEC 61094-2 standardının yeni sürümüne göre yapılan hesaplamalarının geçerliliği halen yürürlükte olan bölgesel anahtar karşılaştırması (EURAMET.AUV.A-K6) [15] sonucunda doğrulanacaktır. TÜBİTAK UME, Avrupa’daki karşılaştırmanın dünya çapındaki karşılaştırmaya bağlantı oluşturacak kurum görevi yaptığı için olası yapılacak hatalı hesaplama karşılaştırmaya katılım sağlayacak tüm 14 ulusal metroloji enstitüyü de etkileyecektir.

5. SONUÇ

Ses basınç birimi standardının birincil düzeyde oluşturulması için dünyadaki gelişmiş ulusal metroloji enstitüleri tarafından kullanılmakta olan IEC 61094-2 standardı, alt frekans bölgesindeki kısıtlamaları aşmak üzere revize edilmiştir. Revizyonun temel nedeni mikrofonların karşılıklık kalibrasyon yönteminde sınırlayıcı unsur olarak görülen kusurlu ısı iletimi düzeltmesi hesaplamalarındaki yaklaşımın geliştirilmesi olmuştur. AB destekli araştırma projesinin sonucu olarak ısı iletimi düzeltmesi hesaplamaları için yeni model geliştirilmiş ve bu model 2022 yılında yürürlüğe girmiş olan IEC 61094-2 standardında tarif

edilmiştir. 1993 yılından beri ulusal ses basınç birimini mikrofönlerin karşılıklı yöntemle kalibrasyonu üzerinden oluşturmuş olan TÜBİTAK UME, standardın yeni sürümüne göre yapılması gereken çalışmaları gerçekleştirmiş olup, çalışmaların sonuçlarını halen yürürlükte olan EURAMET.AUV.A-K6 bölgesel anahtar karşılaştırmasında teyit edecektir.

KAYNAKLAR

- [1] IEC 61094-1:2000 Measurement microphones - Part 1: Specifications for laboratory standard microphones, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2000
- [2] IEC 61094-2:2009/AMD1:2022, Amendment 1 - Electroacoustics - Measurement microphones - Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2022
- [3] Strategy 2023 – 2033, Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound, and Vibration (CCAUV), BIPM, Paris, 31 May 2024
- [4] Jacket R., Avison J., Realizing the primary standard for sound pressure: The trouble with IEC 61094-2, In proceeding of Inter-noise 2015, 9 – 12 August 2015, San Francisco, USA
- [5] Jackett R.J., The effect of heat conduction on the realization of the primary standard for sound pressure, Metrologia 51 (2014) 423
- [6] The Infra-AUV Project, <https://www.ptb.de/empir2020/infra-auv/project/>
- [7] Frederiksen E., Christensen J.I., “Pressure Reciprocity Calibration – Instrumentation, Results and Uncertainty”, Technical Review, Brüel & Kjaer, No.1, 1998
- [8] Rodrigues D., Vincent P., Toward a unified formulation of the acoustic transfer admittance of cylindrical cavities for reciprocity calibration of microphones, Metrologia 60 (2023) 045012
- [9] Rodrigues D., Vincent P., Barham R., Larssonier F., Durand S., A laser pistonphone designed for absolute calibration of infrasound sensors from 10 mHz up to 20 Hz, Metrologia 60 (2023) 015004
- [10] Barham R., Goldsmith M., The application of the NPL laser pistonphone to the international comparison of measurement microphones, Metrologia 44 (2007) 210
- [11] He L. B., He W., Qin J. H., Yang P., Zhong B., Niu F., 2012 A reference infrasound source with low distortion based on laser pistonphone technology, MAPAN 27 213–8
- [12] Sinojmeri M., Final technical report for key comparison CCAUV.A-K2, Metrologia 46 (2009) 09006
- [13] Henríquez V. C., Rasmussen K., Final report on the key comparison CCAUV.A-K3, Metrologia 43 (2006) 09001
- [14] Rodrigues D., Sandermann Olsen E., Llamas O., Dobrowolska D., Defilippo Soares Z.M., Cho W.H., Hof Ch., Thomas C., Dickinson L., Yamada K., Takahashi H., Nel, Hanes P., Sadıkoğlu E., Kolesov S., Golovin D., Final report on the key comparison CCAUV.A-K6, Metrologia 60 (2023) 09001
- [15] Technical Protocol of Regional Key Comparison, EURAMET.AUV.A-K6, <https://www.bipm.org/kcdb/comparison?id=2023>

AKUSTİK GAZ TERMOMETRE YÖNTEMİ İLE SES HIZI ÖLÇÜMLERİ

Cafer Kırbaş¹, Hasipcan Aydın²

¹⁻²TÜBİTAK UME, Gebze, Kocaeli, Türkiye

e-posta: cafer.kirbas@tubitak.gov.tr, hasipcanaydin@gmail.com

ÖZET

Akustik Gaz Termometre (AGT), kelvin'in yeni tanımında kullanılan birincil termodinamik sıcaklık ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde ses hızı ölçülerek termodinamik sıcaklık belirlenir. Ölçümler, argon gazı içeren bakırdan yapılmış 50 cm yarıçaplı küresel bir rezonatörde akustik ve mikrodalga rezonanslarının ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ses hızı, 273,16 K ve 302,91 K sıcaklıklarında, 100–550 kPa basınç aralığında 50 kPa adımlarla denge koşullarında ölçülmüştür. Rezonatör içindeki akustik ve mikrodalga rezonanslara, model kaynaklı düzeltmeler (termal sınır katmanı, mekanik rezonans, küresellikten sapma) uygulanmıştır. Deneysel ve teorik ses hızı değerleri arasındaki bağıl hata 10–20 ppm olup, bu sonuçlar termodinamik sıcaklık ölçümlerinde hatanın 10 ppm'den küçük olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Akustik gaz termometre, ses hızı, küresel kavite rezonansı, kelvin birimi.

SPEED OF SOUND MEASUREMENTS BY ACOUSTIC GAS THERMOMETRY METHOD

ABSTRACT

The Acoustic Gas Thermometer (AGT) is the primary method used in the new definition of the thermodynamic temperature unit, kelvin. In this method, the measured quantity is the speed of sound, through which the thermodynamic temperature is determined. Measurements were performed by observing acoustic and microwave resonances in a 50 cm radius spherical copper resonator filled with argon gas. Sound speed measurements were carried out at 273.16 K and 302.91 K under equilibrium conditions, within a static pressure range of 100–550 kPa at 50 kPa intervals. Model-based corrections for thermal boundary layer effects, mechanical resonances, and deviations from ideal sphericity were calculated and applied to the measured data. The relative difference between experimental and theoretical sound speed values was approximately 10–20 ppm. These results indicate that the uncertainty in thermodynamic temperature measurements can be reduced to below 10 ppm.

Keywords: *Acoustic gas thermometry, speed of sound, resonances in a spherical cavity, unit of kelvin.*

1. GİRİŞ

Akışkanlar içerisinde ses hızı, elastisite modülünün ortam yoğunluğuna oranının karekökü olarak tanımlanmaktadır. Elastisite modülü, K_s ($K_s = \gamma_0 p$) ve ortam yoğunluğunun, ρ , sıcaklığa bağımlılığı ses hızının sıcaklığa bağımlılığını ifade eder. İdeal gaz ortamında, ortam yoğunluğu $\rho = Mp/RT$ ifadesine eşittir. Eşitlikte M molar kütle, R gaz sabiti ve T termodinamik sıcaklıktır. Bu denklemler arasındaki ilişki kullanılarak aşağıda Denklem (1)'de verilen sıfır basınç limitindeki ses hızı, u_0 , ifadesi ile tanımlanır. u_0 , ifadesinin Boltzmann sabiti üzerinden mikroskobik eşitliği Denklem (1)'de verilmektedir ve bu denklem ses hızı ölçümleri üzerinden birincil termometre tanımının yapılmasını mümkün kılmaktadır [1].

$$u_0^2 = \gamma_0 \frac{kT}{m} \quad (1)$$

Denklem (1) içerisinde ideal gaz ortamında γ_0 ideal gaz ısı iletim katsayısı oranı, m moleküler gaz kütlesi, k boltzman sabiti ve T termodinamik sıcaklıktır. Boltzmann sabiti yapılan deneylerle $k = 1,38064880(3) \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ olarak $u_0 = 6,0 \times 10^{-7}$ bağıl belirsizlikle en yüksek doğrulukta belirlenmiştir [2]. Böylece akustik gaz termometre kullanılarak ses hızı üzerinden sıcaklık belirlenmesi milyonda bir bağıl hata'dan (1 ppm) daha küçük belirsizlikle yapılması mümkün olmaktadır [3].

2019 yılına kadar sıcaklık birimi kelvin (K) suyun üçlü noktası (SÜN) sıcaklığı üzerinden tanımlanmaktaydı. Suyun üçlü noktası sıcaklığı, oluşturulan bir hücre içerisinde suyun katı, sıvı ve gaz fazlarının kombinasyonun denge halinde elde edilen sıcaklıktır. Sıcaklık birimi kelvin'in tanımlanmasında farklı laboratuvarlarda oluşturulan hücreler arasında gözlemlenen farklar birimin oluşturulmasında ve uzun yıllar muhafazasında sapmalara neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SÜN noktası haricindeki diğer sıcaklık noktalarında da yüksek belirsizlikler elde edilmektedir. Son yıllarda yapılan deneylerde bilimsel sabitlerin çok düşük belirsizliklerle belirlenmesi sonucunda 2019 yılında Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansında (CGPM), kelvin birimi dahil bazı diğer SI birimlerinin (kg, amper ve mol) bilimsel sabitler üzerinden yeniden tanımlanması yönünde karar alınmıştır [4]. Böylece ulusal metroloji enstitüleri sıcaklık birimi kelvin'i yeni tanıma göre oluşturulması üzerine çalışmalarını artırmıştır. Bu çalışmalarda en yüksek doğruluğa sahip yöntem akustik gaz termometre (AGT)'dir. Literatürde varolan çalışmalar AGT yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen termodinamik sıcaklık ölçümleri, T , ve halen mevcutta kullanılan uluslararası sıcaklık ölçeği ITS-90, T_{90} , arasındaki farklar ($T - T_{90}$) ulusal metroloji enstitüleri tarafından ölçülerek ortaya konulmuştur ve özellikle 400 K üzeri sıcaklıklar olmak üzere farklı sıcaklıklar için halen çalışmalar devam etmektedir [5-7].

TÜBİTAK UME'nin misyonu ülkemizde gerçekleştirilen bütün alanlardaki ölçümleri güvence altına almak için birincil standartları oluşturmak ve muhafazasını sağlamaktır. Bu çalışmanın amacı da ülkemizde sıcaklık alanındaki ölçümlerin izlenebilirliğinin Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (BIPM) tarafından gerçekleştirilen yeni kelvin tanımı doğrultusunda gerçekleştirilmesi için AGT yöntemi üzerinden birincil yöntemi oluşturmaktır. Bu amaçla TÜBİTAK UME'de AGT yöntemi kullanılarak birincil termometre ölçüm sistemi üzerinde çalışmalara başlamış [8] ve deney düzeneğini kurmuştur. Kurulan AGT ölçüm düzeneği kalitesinin teyit edilmesi amacıyla ilk olarak SÜN noktası (273,16 K) ve sonrasında 302,91 K sıcaklıklarında ses hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 273,16 K sıcaklığında gerçekleştirilen ses hızı ölçümlerinde hata değerlerinin 5 ppm'den küçük olduğu ve 302,91 K sıcaklığında elde edilen hata değerlerinin 30 ppm civarında olarak belirlenmiştir. AGT birincil

termometre'nin 10 ppm'den daha küçük belirsizlikte oluşturulmasına yönelik anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu bildiride AGT ölçüm metodu, deneyde kullanılan ölçüm düzeneği ve gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. AKUSTİK GAZ TERMOMETRE YÖNTEMİ

Ses hızının yüksek doğrulukta ölçülmesinde, yarıçapı r olan küresel geometriye sahip içerisi gaz dolu sabit hacim (küresel boşluk) içerisinde rezonans frekansların belirlenmesi yöntemi kullanılmaktadır. Ses dalgasının küre içerisinde uyarılması sonucunda küre içerisinde farklı modlarda durağan ses dalgası oluşur ve modlardan birisi de merkezden radyal olarak yayılan durağan ses dalgalarıdır. Oluşan radyal mod ses dalgası denkleminin, $p(r)$, çözümü küresel Bessel fonksiyonunu, $J_l(k_{ln}r)$, vermektedir. Küre içerisinde oluşan durağan ses dalgaları yarıçapı a olan küre yüzeyinde parçacık hızı $v=0$ ve $\frac{\partial p}{\partial r} = 0$ sınır koşullarını oluşturmaktadır.

Sınır koşullarının küresel Bessel fonksiyonuna uygulanması sonucunda, Denklem (2)'deki birinci terimle verilen küresel boşluktaki ses dalgalarının farklı Bessel köklerindeki rezonansları elde edilir. Kürenin üretiminde geometrik hatalardan, ses dalgasının küresel boşluk içerisinde gaz ortamındaki yayılımı ve termal sürtünme sonucu oluşan enerji kayıplarından ve küresel boşluğun akustik empedansa sahip olmasından kaynaklı etkilerde Denklem (2) içerisinde ikinci terimle verilerek AGT'ye karşılık gelen gerçekçi matematiksel model oluşturulur [9].

$$F_N = f_N - ig_N = \frac{uz_N}{2\pi a} + \sum_j (\Delta f - ig)_j \quad (2)$$

Denklem (2)'de verilen ifade kompleks rezonans frekansı vermektedir. N alt indisi rezonans modlara (ln) karşılık gelmektedir. $l=0$ için $(0,n)$ modları bozulmaya uğramayan (dejenere) rezonans frekansları vermektedir ve radyal modlar olarak tanımlanmaktadır. Denklem (2) içerisinde ses hızı, u , ölçülen kompleks frekans, $F_N = f_N + g_N$ ve küresel boşluğun yarıçapı, a ile belirlenmektedir. z_N Bessel fonksiyonu köklerini vermektedir. Akustik gaz termometre temel prensibi Denklem (2) ifadesi ile tanımlanmaktadır. Kompleks rezonans frekansı içerisindeki sanal terim g_N toplam enerji kayıplarıdır ve rezonans eğrisinin yarı genişliği ile ölçülebilir bir büyüklüktür. j alt indisi rezonans frekansı üzerindeki bozulma sayısını ifade etmektedir. Küresel kavite içerisinde Denklem (2)'de verilen matematiksel model ile ifade edilen Δf_N rezonans frekansındaki bozulmalar literatürde verilmektedir [10].

Akustik rezonansların belirlenmesinde verici ve alıcı olmak üzere iki adet 1/4" kapasitif mikrofon kullanılmaktadır. Mikrofon diyaframları ideal küre elde edilebilmesi için küresel boşluğun iç duvar yüzeyi ile yüz yüze olacak şekilde yerleştirilmiştir. f_N merkez frekansında $\pm 2g_N$ bant aralığında verici mikrofon üzerinden sinyal üretilerek alıcı mikrofonun çıkışları noktasal olarak faz-kilitlemeli yükselteç (lock-in amplifier) cihazı üzerinden sinyalin reel bileşeni (in-phase), u , sanal bileşeni (quadrature), v ölçülür ve Denklem (3)'de verilen matematiksel ifadeye göre eğri uydurma yapılır.

$$u + iv = \frac{ifA}{f^2 - (f_N + ig_N)^2} + B + C(f - f_N) \quad (3)$$

Denklem (3) ifadesindeki A , B ve C kompleks parametrelerdir. Rezonans ölçümleri sonucunda Denklem (3) kullanılarak yapılan eğri uydurma statik basınca ve ölçümlerin

gerçekleştirildiği gaz ortamına göre 10^{-2} ppm doğrulukta rezonans belirlenmesini mümkün kılar.

Denklem (2)'de verilen ses hızının belirlenmesinde sadece akustik rezonans frekansının ölçülmesi yeterli değildir. Denklem (2) içerisinde var olan küresel boşluğun yarıçapının da, a , yüksek doğrulukta belirlenmesi gerekmektedir. Küresel boşluğun (rezonatör) yarıçapı, küresel boşluk içerisinde elektromanyetik alan ölçümleri üzerinden elektromanyetik rezonansların ölçülmesi ile belirlenmektedir. Akustik rezonansa benzer olarak elektromanyetik alan çözümleri sonucunda elektromanyetik rezonans frekansı ile yarıçap arasındaki ilişki Denklem (4) ile elde edilir [9].

$$f_{in}^{mw} + ig_{in} = \frac{c\epsilon_{in}}{2\pi a} + \sum_j (\Delta f^{mw} - ig)_j \quad (4)$$

ϵ_{in} akustik rezonans frekansında olduğu gibi dalga denklemi çözümünden gelen küresel Bessel fonksiyon köküdür. c küresel boşluk içerisindeki ışık hızıdır, kırılma indisi ve gaz yoğunluğuna bağlıdır. Elektromanyetik rezonanslar mikrodalga frekans bölgesine karşılık geldiği için mikrodalga rezonanslar olarak tanımlanmaktadır ve Denklem (4)'te f^{mw} olarak ifade edilmektedir. Akustik rezonansta olduğu gibi sanal terim g toplam enerji kayıplarıdır ve rezonans eğrisinin yarı genişliğidir. Rezonans frekansı ve yarı genişlikte kullanılan indisler (in) küre içerisinde oluşan farklı rezonans modlarını temsil etmektedir.

Denklem (2) ve Denklem (4)'ün birleşmesi sonucu elde edilen Denklem (5), ses hızının akustik ve mikrodalga rezonans ölçümleri üzerinden belirlenmesini veren ifadedir.

$$u_0 = c_0 \frac{f_N^{ac} + \Delta f_N^{ac}}{(f_N^{mw} + \Delta f_N^{mw}) \cdot z_N^{ac}} \epsilon_N^{mw} \quad (5)$$

Statik basınç 0'a yaklaşırken u_0 ses hızı Denklem (5) ifadesi ile elde edilir. Denklem (5) küresel boşluk içerisinde tanımlı bir gaz içerisinde ölçülen mikrodalga ve akustik rezonans frekanslarına ve hesaplanan düzeltme değerleri üzerinden elde edilebildiği sonucunu göstermektedir. Denklem (5) içerisindeki mikrodalga rezonans frekansı bozulmuş üç farklı rezonans frekansının (dejenere triplet) ortalamasından elde edilmektedir [6].

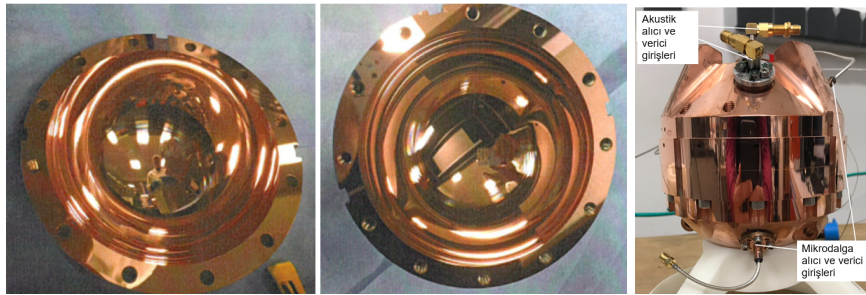
Ses hızı, içerisi tanımlı bir gazla doldurulmuş küresel boşluktaki akustik ve mikrodalga rezonans ölçümleri üzerinden belirlenmesi sonucu sayesinde, termodinamik sıcaklık Denklem (1)'deki ilişki ile hesaplanabilir. Sıcaklık belirlenmesinin Denklem (2) kullanılarak ses hızı ölçümü üzerinden gerçekleştirilmesi mutlak AGT yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Mutlak sıcaklık belirlenmesinde Denklem (2)'de verilen deneylerde kullanılan gazın m molar kütesinin belirlenmesi diğer üzerinde çalışılmasını gerektiren bir durumdur. Sıcaklık belirlenmesinde diğer uygulanan yöntem ise bağıl AGT yöntemidir. Bağıl AGT yönteminde ses hızı ölçümleri SÜN noktası sıcaklığı, T_w referans alınarak ve diğer istenilen sıcaklıkta, T , ses hızı ölçümleri tekrar edilerek karşılaştırma yöntemi ile sıcaklık belirlenmesi Denklem (6)'deki ifade üzerinde yapılmaktadır [9].

$$\frac{T}{T_w} = \frac{u_0^2(T)}{u_0^2(T_w)} \quad (6)$$

Bağıl yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ölçümler mutlak yöntemle göre daha avantajlıdır. Aynı gazın her iki sıcaklıkta kullanılması Denklem (1)'de bulunan, k ve m , katsayılarını yok edeceği için deneylerde gazdan kaynaklı hata da ortadan kaldırılmış olmaktadır.

3. AGT DENEY DÜZENEĞİ

Şekil 1'de AGT düzeneği içerisinde kullanılan UME1 rezonatörü (küresel boşluk) verilmektedir. Rezonatör, iki yarım kürenin hassas montajı ile oluşmaktadır. Rezonatörün iç yapısı, elektromanyetik üçlü rezonansların birbirinden ayırt edilebilmesi için eksen boyutları farklı (Quasisphere) olarak tasarlanmıştır [11]. Üretim hassas elmas tornalama ile gerçekleştirilmiş ve 3 μm boyutunda pürüzlülük öngörülerek imal edilmiştir. Boşluk içinde doğru akustik ve mikrodalga rezonansları elde etmek için özel bir hizalama prosedürü uygulanarak iki yarım küre sabitlenmiştir. Rezonatörde, Şekil 1'de gösterilen iki akustik (MP1, MP2), iki mikrodalga (MW1, MW2) ve iki basınç portu mevcuttur. Tablo 1'de UME1 rezonatör özellikleri verilmektedir.



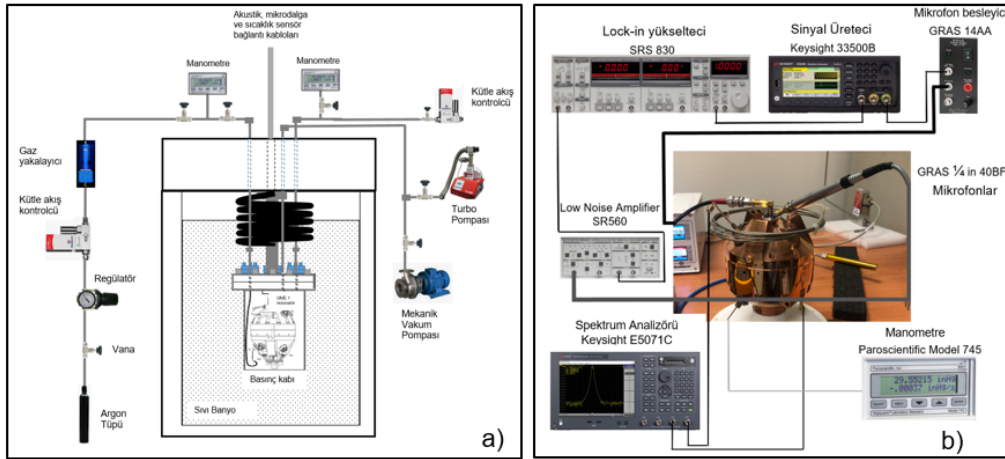
Şekil 1. UME1 rezonatör iç yüzeyi ve monte edilmiş yapısı

Tablo 1. UME1 Rezonatör Özellikleri

Basınç Dayanımı	700 kPa
Malzeme	Bakır, Cu-EPT
Dış Çap / İç Çap	120 mm / 100 mm
Rezonatör yüzeyindeki girişler	2 Mikrodalga / 2 Akustik / 2 Basınç
Termometre Delikleri	4 tane kuzey yarım kürede 2 tane güney yarım kürede, toplamda 6 adet (6x6) mm boyutlarında delikler mevcuttur
İşleme Yöntemi	Elmas Tornalama
Kullanılan Gaz	Argon

Akustik Gaz Termometre deney düzeneği Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2a AGT sisteminin banyo içerisinde konumlandırılması ve gaz besleme hattını, Şekil 2b ise elektronik ölçüm düzeneğini vermektedir. Argon gazı basınç regülatörü sonrasında kütle akış kontrolcüsü ve tuzaklayıcıdan (getter) geçtikten sonra banyo içerisinde bulunan basınç kabına 1/4 inç çapında boru hattı ile aktarılmaktadır ve sonrasında rezonatör içerisine daha dar borular ile rezonatör gaz giriş portuna bağlanmaktadır. Rezonatör yüzeyinde bulunan gaz çıkış portu ile basınç kabına ve basınç kabından dışarıya yine kütle akış kontrolcüsü kullanılarak atılmaktadır. Giriş ve çıkış hattı üzerinde rezonatör içerisindeki basıncın 5 Pa'dan daha küçük hassasiyetinde belirlenebilmesi için basınç sensörleri (Paroscientific Model 745 manometre) bulunmaktadır. Ölçümler boyunca rezonatör içerisinde (5-10) sscm akış hızında sürekli gaz akıtılmıştır.

Akustik ve mikrodalga rezonans ölçümlerinde Şekil 2b'deki ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Akustik rezonans ölçümlerinde, 1 Vrms çıkışa sahip sinyal üretici (Keysight 33500B), önceden tahmin edilen rezonans frekansındaki sinyali mikrofon beslemesi (GRAS 14AA) üzerinden yükseltilerek 90 V büyüklüğündeki AC sinyal rezonatör yüzeyinde bulunan verici mikrofonla aktarılmıştır. Sinyal üreticinin senkronizasyon çıkışı, Faz kilitlemeli yükseltecin (Lock-in Amplifier SRS 830) referans girişine bağlanmıştır. Rezonatör yüzeyindeki alıcı mikrofon çıkışı ön yükselteci ardından mikrofon şartlandırıcı (B&K Nexus) ve sonrasında düşük gürültülü yükselteci (SR560) bağlanmıştır. Düşük gürültülü yükseltecin çıkışı son olarak Faz Kilitlemeli Yükseltecin girişine bağlanmıştır. Mikrodalga rezonans ölçümlerinde, mikrodalga sinyallerini iletmek ve geri almak için spektrum analizörü (Keysight E570C) kullanılmıştır. Rezonatör içerisindeki sıcaklığı (T_{90}) ölçmek için suyun üçlü noktasında kalibrasyonu yapılmış üç adet standart platinyum direnç termometresi (SPRT) monte edilmiştir. SPRT'lerin ikisi rezonatörün kuzey kutbuna, diğeri ise alt kutbuna monte edilmiştir. SPRT'ler Sıcaklık Köprüsüne bağlanarak direnç ölçümleri üzerinden ITS-90 skalasına göre sıcaklık ölçümleri yapmıştır. Akustik ve mikrodalga rezonansları, basınç ve sıcaklık ölçümleri, labview yazılımı kullanılarak cihazlar üzerinden haberleşilerek bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.



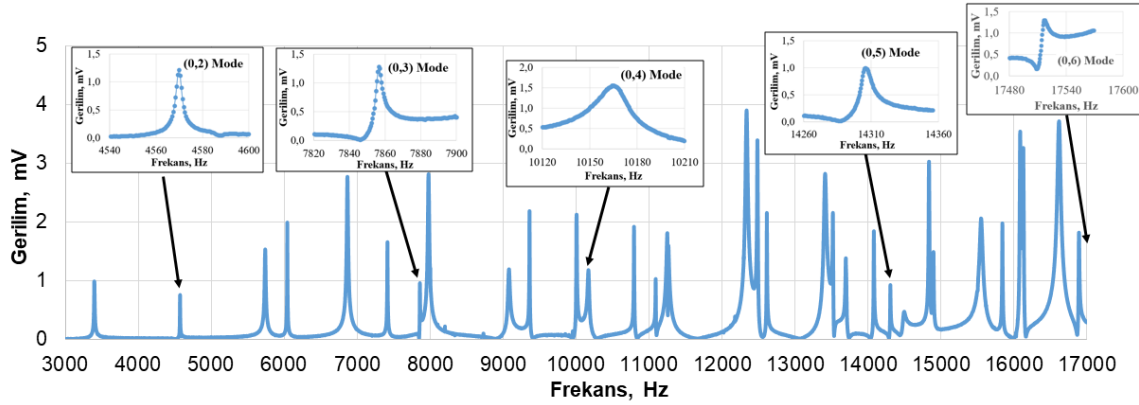
Şekil 2. a) AGT sistemi b) Ölçüm düzeneği

4. AKUSTİK VE MİKRODALGA REZONANS ÖLÇÜMLERİ

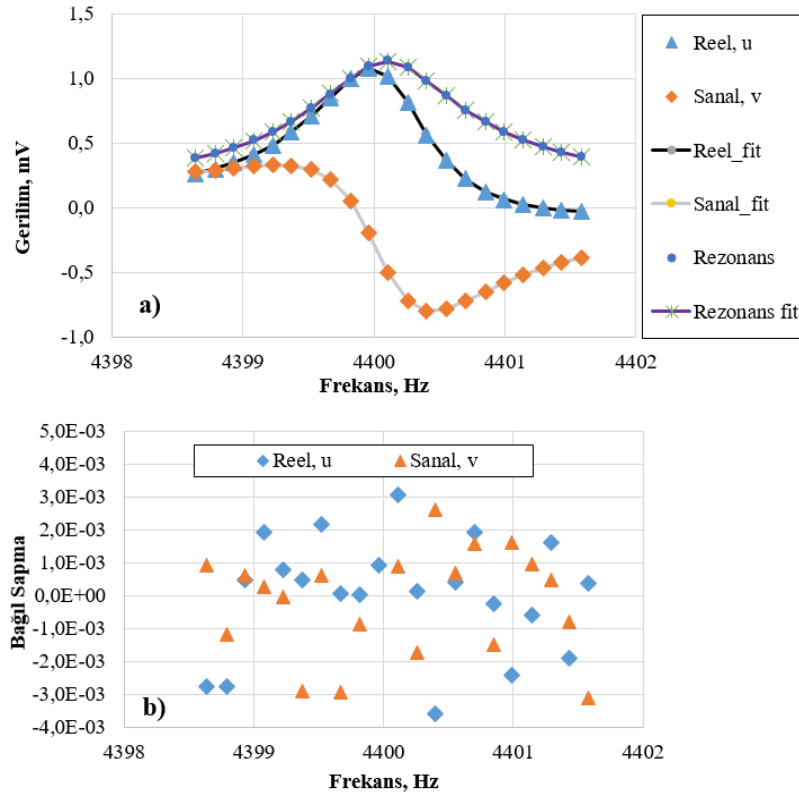
Akustik rezonans ölçümlerinde radyal modlar için akustik rezonans frekanslar, UME1 rezonatörü için tüm rezonansların taranmasıyla tahmin edilmiştir (Şekil 3).

Radyal modlar f_{0n} ve yarı genişlik g_{0n} kabaca belirlendikten sonra, verici frekansı $f_{0n}-g_{0n}$ 'den başlayarak $f_{0n}+g_{0n}$ 'e kadar $g_{0n}/10$ çözünürlükte 21 farklı frekansta sinyal üretici tarafından sürülmüştür ve ardından ters yönden tekrarlanmıştır. Toplamda, faz kilitlemi yükselteç çıkışından sinyalin reel (in-phase) ve sanal (quadrature) değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda noktasal olarak elde edilen veriler Denklem (3)'te verilen fonksiyona (Levenberg-Marquadt) eğri uydurma metodu kullanılarak, yaklaşık 1 ppm belirsizlikle f_{0n} ve g_{0n} A , B ve C değerleri hesaplanmıştır. Rezonans taraması sonucu ve elde edilen (0,2) ile (0,6) radyal modlara karşılık gelen akustik rezonanslar ve yarı genişlikler Şekil 3 içerisindeki küçük grafiklerde verilmektedir. Şekil 4a'da (0,2) radyal moda karşılık gelen akustik rezonans için yapılan ölçümler ve eğri uydurması verilmektedir. Şekil 4b'de eğri uydurma sonucunda elde edilen fonksiyonun ölçülen değerlerden farkının rezonans büyüklüğüne oranlanması sonucu elde edilen bağıl sapmalar gösterilmektedir.

Mikrodalga rezonans ölçümlerinde, mikrodalga rezonanslarının tahmini teorik olarak hesaplanmıştır. TM11, TM12, TE11 ve TE12 için bu tahmini frekanslar spektrum analizörüne girilmiştir. Tipik olarak, tahmini frekans altındaki her modu kapsayan eşit aralıklı 201 frekans, 10 Hz'lik bir IF bant genişliğine sahip 10 taramanın ortalaması olarak kaydedilmiştir. Ölçümlerde, spektrum analizörü S_{12} katsayısını ölçecek şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen veriler, akustik rezonans ölçümlerinde olduğu gibi eğri uydurma yöntemi kullanılarak mikrodalga frekanslarını ve yarı genişliği bulmak için kullanılmıştır. TM11 ve TE11 rezonans frekansları ölçümleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



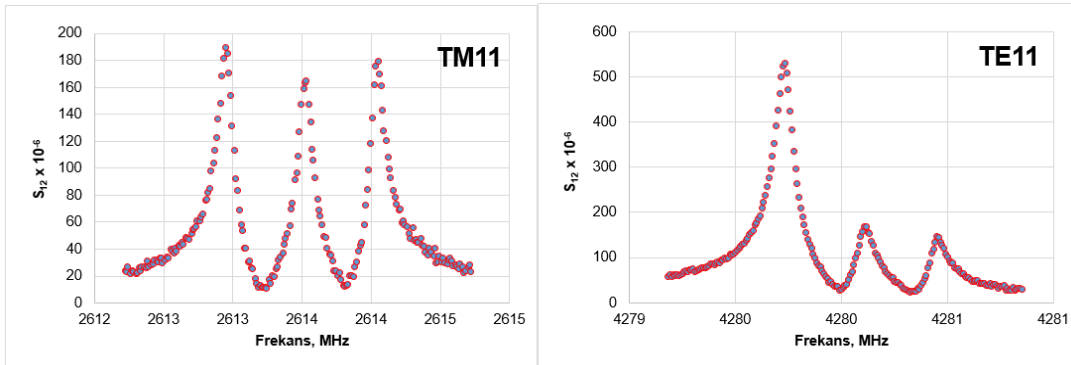
Şekil 3. UME1 rezonatörün 3 kHz ile 17 kHz aralığında ölçülen rezonans frekansları, küçük grafikler radyal modları göstermektedir.



Şekil 4. a) (0,2) radyal modu için eğri uydurma b) uydurulan eğri ile ölçülen değerlerdeki sapma

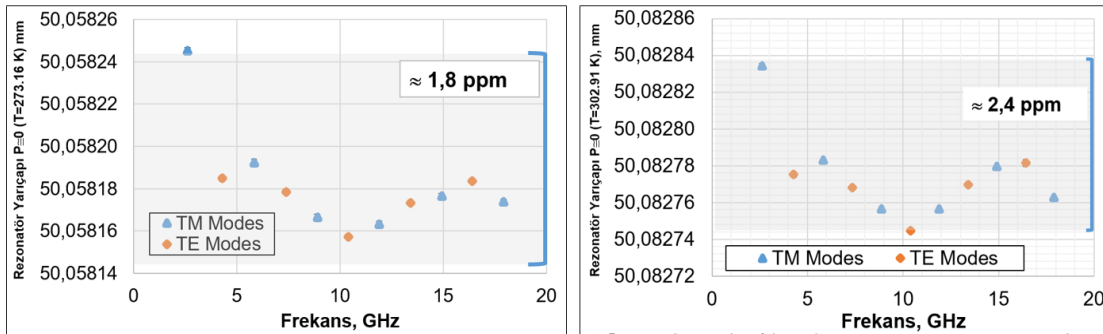
5. ARGON GAZI İÇERİSİNDE SES HIZININ BELİRLENMESİ

Ses hızı belirleme ölçümleri iki farklı sıcaklıkta (273,16 K ve 302,91 K) gerçekleştirilmiştir. Ölçümlere başlamadan önce, rezonatör içerisi 0,1 Pa değerine kadar vakum edilmiştir. Vakum işlemi sonrası rezonatör içerisinde yaklaşık olarak 500 kPa – 100 kPa statik basınç seviyeleri arasında 50 kPa aralıklarla basınç dengelerinde akustik rezonans ve mikrodalga rezonans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Akustik rezonans ölçümleri her izobar için (0,3) ile (0,5) arasındaki radyal modlarda tekrarlı olarak yapılmıştır. Mikrodalga ölçümleri aynı şekilde akustik rezonans ölçümleri ile eşzamanlı olarak TM ve TE modlarında tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler sonrasında her bir basınç dengesindeki ses hızı Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda Denklem (2)'te ifade edilen düzeltme değerleri hesaplanmıştır ve Denklem (5) içerisindeki hesaplamalara dahil edilerek düzeltilmiş ses hızı değeri belirlenmiştir.



Şekil 5. TM11 ve TE11 mikrodalga rezonanslar

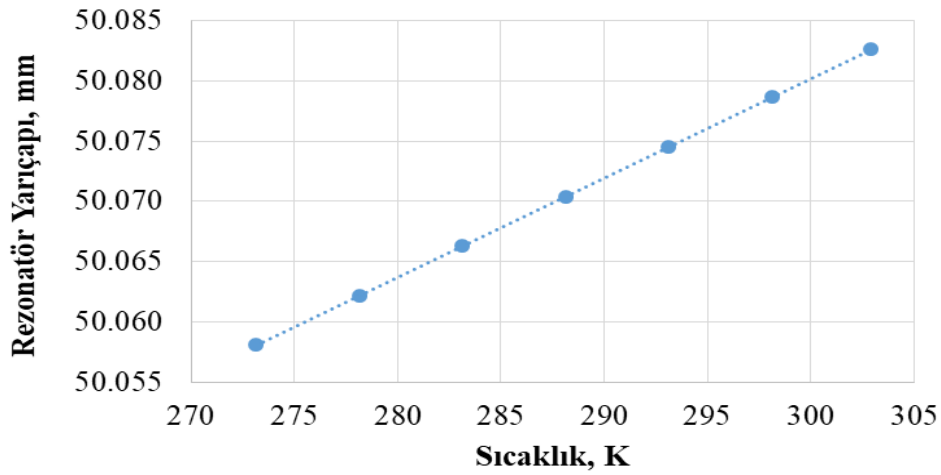
Gerçekleştirilen mikrodalga ölçümleri ile rezonatörün yarıçapı belirlenmiştir. 273,16 K ve 302,91 K sıcaklığında mikrodalga rezonans ölçümleri ile rezonatör yarıçaplarının belirlenmesi sonuçları Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'dan görüldüğü üzere farklı mikrodalga modlarında (TM ve TE) gerçekleştirilen mikrodalga rezonans frekansı ölçümleri ile rezonatör yarı çapı belirlenmesindeki sapmaların yaklaşık 1,8 ve 2,4 ppm civarında olduğu görülmektedir. Mikrodalga rezonans ölçümleri farklı sıcaklıklarda vakum ortamda yapılarak rezonatör yarıçapının sıcaklıkla olan değişimi belirlenmiştir (Şekil 7). Lineer eğri uydurma ile rezonatör imalatında kullanılan bakırın genleşme katsayısı $16,53 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda belirlenen genleşme katsayısının literatür verisi $16,58 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir [12].



Şekil 6. Rezonatör içerisi vakum durumundayken yarıçap belirlenmesindeki sapmalar, $\alpha_0 = 50,05818 \text{ mm}$ (273,16 K) ve $\alpha_0 = 50,08277$ (302,91 K) mm olarak belirlenmiştir.

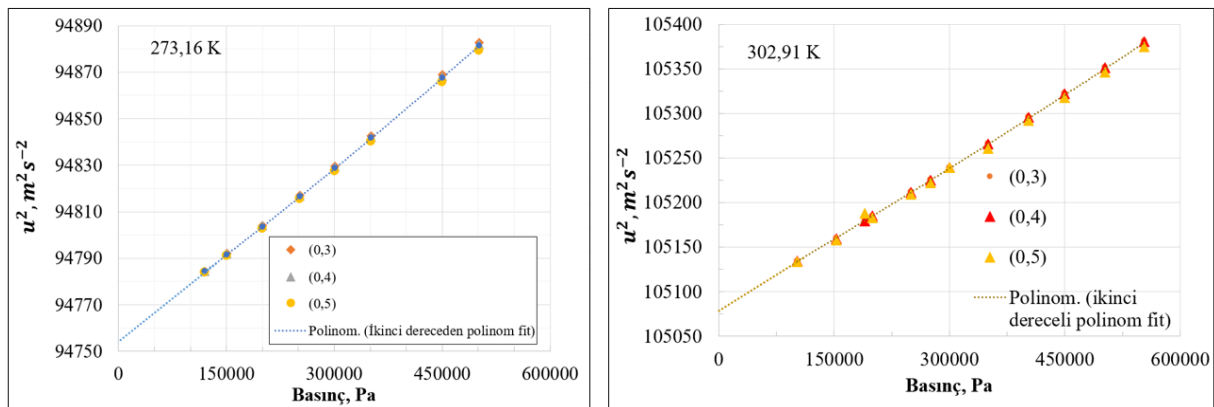
Rezonatör içerisinde farklı basınç dengelerinde 273,16 K ve 302,91 K sıcaklıklarında yapılan akustik ve mikrodalga rezonans ölçümleri sonucunda elde edilen verilerle Denklem (5)'teki ifade kullanılarak ses hızı değerleri her bir basınç dengesi için hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda belirlenen ses hızı değerlerinin basınca göre değişimi grafiği üzerinden ses hızı değerlerinin basınçla ilişkisini gösteren [9] Denklem (7)'ya göre eğri uydurma yapılarak eğrinin $p=0$ noktasında grafiğin y eksenini kestiği noktadaki Argon gazı içerisindeki u_0 ses hızı değerleri hesaplanmıştır.

$$u^2 = u_0^2 + A_1p + A_2p^2 \quad (7)$$



Şekil 7. Rezonatör yarıçapının sıcaklıkla olan değişimi

Şekil 8'de (0,3), (0,4) ve (0,5) radial modlarında farklı basınçlarda yapılan ölçüm sonuçlarının ses hızı grafiği ve Denklem (7)'ye göre uydurulmuş eğri grafikleri verilmektedir. Tablo 2'de eğri uydurma sonucu elde edilen $P=0$ 'daki, ses hızı, u_0 , değerlerinin hesaplanan teorik ses hızı değerleri arasındaki hatalar verilmiştir.



Şekil 8. 273,16 K ve 302,91 K sıcaklarında basınca göre ölçülen ses hızı değerleri için eğri uydurma

Tablo 2. 273, 16 K ve 302,91 K sıcaklığından Argon gazı içerisinde belirlenen ses hızı değerleri ve teorik değerlerden olan hatası

Radial Mod	Ses Hızı, m/s					
	273,16 K			302,91 K		
	Deneyssel	Teorik	Hata	Deneyssel	Teorik	Hata
(0,3)	307,8251		1,6	324,1635		27,9
(0,4)	307,8254		2,6	324,1637		28,6
(0,5)	307,8250		1,3	324,1666		37,4

6. SONUÇ

Akustik Gaz Termometre kelvin biriminin tanımında kullanılan birincil bir yöntemdir. SÜN noktasında ve diğer sabit sıcaklık noktalarında kelvin biriminin oluşturulması için yaklaşık 10 ppm'den daha küçük bağıl belirsizlikle termodinamik sıcaklık belirlemeleri için 5 ppm'den küçük bağıl belirsizlikle ses hızı ölçümlerinin gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. TÜBİTAK UME'de kurulan AGT sistemi ile termodinamik sıcaklık belirlenmesi amacı ile farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen ölçümlerde deneyde kullanılan küresel kavitenin yarıçapı birbirine yakın olarak 2,4 ppm'den daha küçük hata ile belirlenmiştir. Ses hızı ölçümlerindeki hatalar farklı sıcaklıklar için birbirinden farklılık göstermektedir. 273,16 K sıcaklığındaki yapılan ses hızı ölçümlerindeki hata hedeflenen 5 ppm altında kalırken, 302,91 K sıcaklığında gerçekleştirilen ölçümlerdeki hata 25 ppm olarak belirlenmiştir. Deneylerde ölçülen basınç değerleri üzerinde düzeltmeler uygulanmamış ve gaz akış hızlarının etkisi dikkate alınmamıştır. Özellikle 302,91 K sıcaklığındaki hatanın yüksek çıkmasının nedeni hesaplamalarda kullanılan ve literatürden temin edilen verilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle AGT modelindeki düzeltmeler tekrar gözden geçirilecektir. Bu amaçla halen devam eden araştırmalara ve ölçümlere bu yönde odaklanarak hedeflenen birkaç ppm'lik bağıl ses hızı ölçümlerindeki hataların elde edilmesi için çalışmalar devam edecektir. Böylece TÜBİTAK UME AGT birincil termometre düzeneğinin dünyadaki ulusal metroloji enstitüleri arasında yerini alması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Trusler J. P. M., Physical Acoustics and Metrology of fluids, IOP publishing, Bristol 1991.
- [2] Pitre L. et al, New measurement of the Boltzmann constant k by acoustic thermometry of helium-4 gas Metrologia 54, 856-873 (2017)
- [3] Peter J M., David B N., Barry N T. and Eite T. “Data and analysis for the CODATA 2017 special fundamental constants adjustment” Metrologia 55 (2018) 125-146
- [4] CPGM 2018 Resolution 1 of the 26th CGPM
- [5] Preston H.-Thomas, The international temperature scale of 1990 (ITS-90) Metrologia 27, 3-10 (1990)
- [6] Gavioso R. M. et al, Determination of the thermodynamic temperature between 236 K and 430 K from speed of sound measurements in helium, Metrologia 56 045006 (2019)
- [7] 22IEM02 DireK-T projesi, Direk-T Yeniden tanımlanan kelvin’in yaygınlaştırılması
- [8] Kırbaş C., Gavioso R. M., Ripa D. M., Ses hızı ölçümleri yöntemi ile birincil termometre tanımı, 13. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, Diyarbakır, (2019)
- [9] M. R. Moldover, R. M. Gavioso, J. B. Mehl, L. Pitre, M. de Podesta and J. T. Zhang,
- [10] Acoustic Gas Thermometry, Metrologia, 51, R1-R19, (2014)
- [11] Benedetto G. et al, Acoustic measurements of the thermodynamic temperature between the triple point of mercury, Metrologia, 41, 74-98, (2004)
- [12] Mehl J B. et al, Designing Quasi-Spherical Resonators for Acoustic Thermometry, Metrologia, 41, 295 (2004)
- [13] Simon N. J., Drexler E. S., Reed R. P., Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperatures, NIST Monograph 177 (1992)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 22IEM02 DireK-T projesi ile Avrupa Metroloji Ortaklığı'ndan, Avrupa Birliği'nin Ufuk Avrupa Araştırma ve Yenilik Programı'ndan ve Katılımcı Devletler'den eş finansmanla finanse edilmiştir.

BİNALARIN AKUSTİK DEĞERLENDİRİLMESİNDE AHP'E DAYALI TEK SAYILI DERECELEME SİSTEMİ

Selma Kurra¹, Ayca Şentop Dümen²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

e-posta: selmakurra@gmail.com

²Norwegian University of Science and Technology Trondheim, Norway

e-posta: ayca.s.dumen@ntnu.no

ÖZET

Binaların akustik performans ve sınıflandırma değerlendirmesi, ölçümlere dayalı birçok faktörün analizini gerektirir. Bu süreçte, ölçülen değerlerin ölçütlerle karşılaştırılmasında kabul edilebilir sapma düzeyi ve faktörlerin önem ağırlıkları belirleyici olmaktadır. Bu bildiri, AHP (Analytic Hierarchy Process) tekniğiyle uzman görüşlerine dayalı olarak her faktörün önceliklerini belirlemektedir. Çalışmada 11 akustik uzman, ikili karşılaştırmalarla 7 faktörü değerlendirmiştir. İncelenen temel parametreler; hava ve darbe sesi yalıtımı, iç mekân ses düzeyi ve reverberasyon süresidir. Tutarlılık testinden sonra bireysel sonuçlar birleştirilerek faktörlerin grup ağırlıkları hesaplanmış, 6 akustik sınıf (A–F) arasındaki oranlar belirlenmiştir. Sonuçta, “performans değerlendirme kartı” olarak adlandırılan bir karar matrisi oluşturulmuş ve binaların akustik kalitesi için tek bir sayısal değerlendirme indeksi geliştirilmiştir. Çalışma, katılımcı sayısı artırılarak uluslararası ölçekte sürdürülmektedir.

Anahtar sözcükler: Bina akustiği değerlendirme, sınıf belirleme, akustik gösterge, Çoklu Hiyerarşik karar verme süreci (AHP).

A SINGLE RATING SYSTEM BASED ON AHP FOR EVALUATION OF BUILDING ACOUSTICS

ABSTRACT

Acoustic performance evaluation of buildings before classification requires consideration of multiple quantitative factors. Key issues include acceptable deviation limits and the relative importance of each factor. This study applies the Analytic Hierarchy Process (AHP), a multi-criteria decision technique, to determine priority weights for acoustic parameters based on expert evaluations. Eleven acoustic consultants assessed seven factors—sound insulation, sound level, and reverberation time—through pairwise comparisons. After consistency checks, data were aggregated, and weights for each factor and six acoustic performance classes (A–F) were calculated. The resulting decision matrix, termed the “acoustic scorecard,” provides a single-number rating index for evaluating building acoustic quality.

Keywords: Rating of building acoustics, classification system, acoustic index, AHP.

1. GİRİŞ

ISO/TS 19488:2021 ve Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği'nde (2017), binaların akustik yönden değerlendirilmesi ve sertifikalandırılması amacına yönelik, sayısal ölçütlere dayalı bir sınıflama sistemi önerilmektedir [1,2]. Uygulanan süreçte, incelenilen birden çok parametrenin (performans faktörlerinin) binada akustik ölçümlere dayalı olarak saptanması ve sınıf değerleri ile karşılaştırması gerekmektedir. Bir binanın akustik sınıfının belirlenmesinde, performans faktörlerinin eşit önemde (ağırlıkta) olduğu varsayılmıştır ve bina geneline atanacak akustik performans sınıfı, bu faktörlerin değerlendirmeleri sonucundaki en düşük sınıfa eşittir. Ancak bu varsayım bina fonksiyonu ve psikoakustik etkilenmeler de gözetilerek tartışılabilir. Bina içindeki alanların kullanım sıklığı, hava doğuşlu ve darbe sesi ve hava doğuşlu ses yalıtımlarından hoşnutsuzluk/rahatsızlık farkı, tesisat gürültülerinin farklı akustik nitelikleri (örneğin sürekli klima sesi veya banyo rezervuarının ani ve dalgalı sesi) gibi faktörlerin, farklı olumsuz etkilenme/tolerans derecelerini oluşturduğu çeşitli araştırmalar tarafından ortaya konulmuştur. Sonuçta, tüm performans ölçütlerinin eşdeğer kabul edilerek uygulanmasının geçerliliği tartışılabilir. Ayrıca sözkonusu dokümanlarda belirlenen sınıf aralıklarına ilişkin ölçütlerin uygulanması ve yorumlanması da kimi zaman güç olmaktadır.

Bu nedenlerle, akustik faktörlerin ağırlıklarını belirleyerek daha basit (tek sayılı) bir değerlendirme sisteminin kullanılması maliyet ve uygulanabilirlik açılarından da önemlidir. Bu çalışmada akustik faktörlerin önem derecelerini belirlemekte çok ölçütlü karar tekniği (Multi- criteria Decision Technique, MCDM) ve analitik sıralama yöntemi (Analytical Hierarchy Process, AHP) kullanılmıştır. Çalışma süreci ve ön sonuçlar aşağıda verilmektedir.

2. AKUSTİK PERFORMANS FAKTÖRLERİ VE AKUSTİK SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİ

Genel olarak akustik koşulları belirlemede ve iyi akustik koşullara sahip binaların tasarlanmasında gözönüne alınacak faktörler (akustik performans faktörleri) şunlardır:

- Akustik faktörler:
 - Gürültü türü (niteliği) : Durgun, aralıklı (kesikli) , ani, darbeli.
 - Gürültü düzeyleri (ses basınç düzeyleri ve göstergeler)
 - Bina elemanlarının hava doğuşlu ve darbe sesi yalıtım değerleri
 - Ortak alanlarda reverberasyon süreleri
- Akustik dışı (diğer) faktörler:
 - Bina yakınında çevresel koşullar (fiziksel, sosyal, akustik,...)
 - Binanın kullanım amacı
 - Bina konstrüksiyonu (yapım tekniği),
 - Mimari özellikleri
 - Yapı içinde ve çevresindeki gürültü kaynaklarının özellikleri (Türleri, yerleşim yerleri ,konumları, işlemsel özellikleri, çalışma zamanları ve süreler)
 - Kullanıcı özellikleri (yaş, cinsiyet, eylemleri, zaman /gün/gece/ hafta/yıl, sosyal ve ekonomik /eğitim/kültür durumları, binayı kullanım zaman ve süreleri vd)
 - Kullanıcı sayısı (Tekil binalarda ve konutlarda yaşayan kişi sayısı, yerleşim yerinde bina sayısı, toplam nüfus)
 - Kullanıcıların öznel tepkileri (Psikoakustik araştırma sonuçlarına bağlı olarak çeşitli gürültü tiplerine, gürültü kaynaklarına tolerans ve rahatsızlık dereceleri), kaynaklara ekonomik bağımlılıklar, vd.
 - Mevcut toplumsal standartlar, yasa ve yönetmelikler, sosyal kurallar vd

Binaların akustik performansını belirlemede kullanılacak ve öngörülecek performans ölçütleri akustik yönetim süreci içinde önemli bir yer tutmaktadır [3]. Akustik konfor ve olumsuz

etkilenme (fiziksel/biyolojik/psikolojik/performans etkilenmeleri alanlarında sürdürülen araştırmaların sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO), UNESCO dokümanları ve Avrupa Birliği Normlarında ayrıntılı açıklanmış ve önerilen performans ölçütleri; sayısal (objektif) ve niteliksel (subjektif) olarak ortaya konulmuştur. Bina içinde eylemlerin etkilenmesi (uyku bozukluğu, konuşma anlaşılabilirliği, dinleme ve anlama kolaylığı, konuşma gizliliği, ses peyzajı gibi etkilenmelerin çeşitliliği, karmaşıklığı, binaların akustik performanslarının değerlendirilmesinde gözönüne alınmalıdır. ISO/TS 19488 (2021)te ve Yönetmelikte, 6 akustik sınıf kullanılmaktadır (En yüksek değer olan A dan en düşük değer olan F e kadar). Sınıflandırmada 5 faktörü temel almaktadır: Hava doğuşlu ses yalıtımı, Darbe –ses basınç düzeyi, dış gürültüye karşı cephe yalıtımı, bina seris ekipmanlarının iç gürültü düzeyi, reverberasyon süresi veya eşdeğer ses yutucu alan. Ulusal yönetmelik ise mekan iç gürültü düzeylerini de ek bir faktör olarak işe katmıştır. Toplam değerlendirmede en düşük performans sınıfı olarak yeni binalarda C , eski binalarda D sınıfı kabul edilmiştir ve ek olarak konut içi bölmeler de incelemeye katılmıştır. Karşılaştırmada ölçütlerden 2 dB sapma ve reverberasyon süresiiçin %10 sapma kabul edilebilmektedir. Diğer bir örnek olarak Norveç standardında 4 kategori tanımlanmıştır ve en düşük konfor için C kategorisi öngörülmüştür [4, 5]. Reverberasyon süresinde sapma %40 a kadar olabilmektedir (125 Hzde).

Öte yandan binaların daha farklı açılardan değerlendirilmesinde tek sayılı birimlerin de kullanıldığı görülmektedir. Örnek: sürdürülebilir bina sertifikalama sistemlerindeki (örn. BREEAM) uygulamalar [6]. Benzer olarak bu çalışmada, akustik değerlendirmeler için de kullanıma ve yorumlamaya daha uygun bir gösterge (indeks) bulunabileceği düşünülerek, ISO /TS 19488 in öngördüğü süreç uygulandıktan sonra binanın akustik niteliğinin, tek bir sayısal puanlama (dereceleme) ile ortaya konulabilirliği araştırılmıştır.

3. BİNALARIN AKUSTİK PERFORMANSINI ÖLÇEN YENİ SİSTEM ÖNERİSİ

3.1. Çalışmanın amacı

Temelde insan sağlığı ve konforu açısından binalar için kabul edilebilir akustik koşulların sağlanması hedefine yönelik olarak binaların sertifikalandırılması sürecinde kullanmak üzere performans faktörlerinin önceliklerinin belirlenmesi ve daha basit bir dereceleme (puanlama) sisteminin önerilmesidir.

3.2. AHP ve bu çalışmada kullanımı

- Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process) (AHP) 1977de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olup karmaşık karar verme problemlerinin organizasyonu, analizi ve çözümü için, matematik ve psikolojiye dayalı bir yöntemdir [7-9].
- Birbiri ile çelişen çoklu ölçütler bulunduğu ve özellikle yöneylem araştırmaları ve yönetim bilminde kullanılmaktadır
- Model karar vericiyi, temel amacı ve tüm önemli ölçütleri hesaba katarak bir sıradüzen (hiyerarşi) kurmasını sağlar.
- AHP karar problemini, birbirinden bağımsız olarak analiz edilecek basit alt problemlere ayırıştırır. Daha sonra grupların veya bireylerin veya nitelik veya nicelik değişkenlerinin önceliklerini hesaplar ve konuyu bütünlük içinde değerlendirir.
- Karar verme sürecinin sonunda, model sonuçlarının belirsizliği konusunda bazı irdelemeler /kanıtlamalar gereklidir. Örnekler:
 - Tutarlılık analizi (consistency analysis) : Sonuçların sabitliği/kararlılığını göstermek

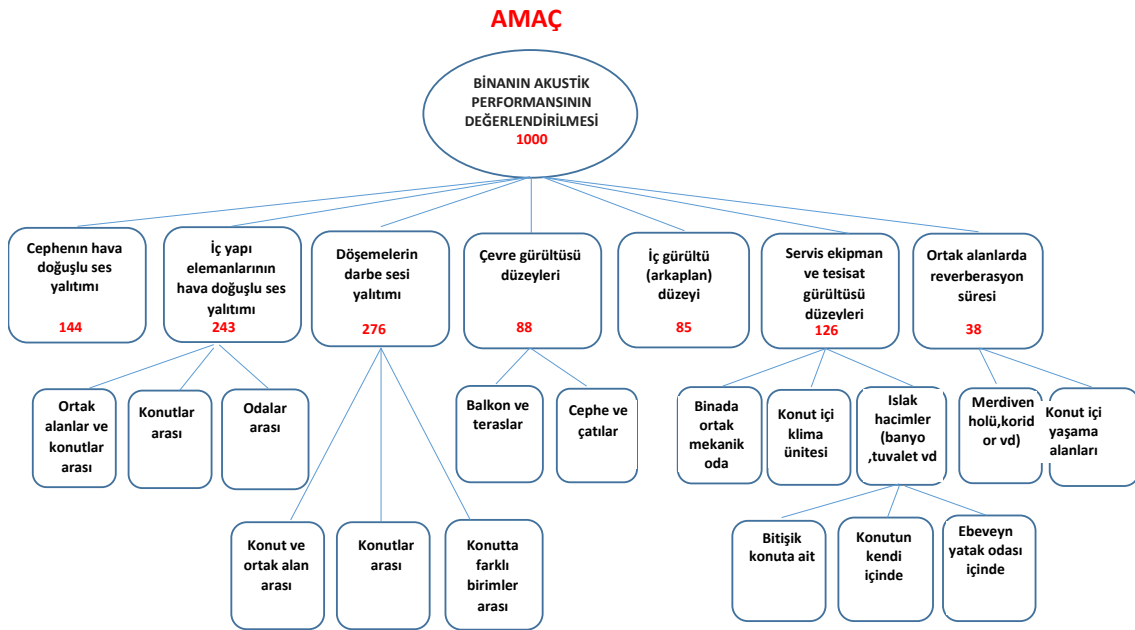
-Duyarlılık analizi (Sensitivity analysis): Özel kararlardaki veya girdilerdeki farklılıkların, varılan sonucu nasıl değiştirdiğini göstermek.

-Çeşitli faktörlerin modelin toplam belirsizliğine olan katkılarını belirlemek.

AHP de karar süreci, öncelikle bir hiyerarşi modelinin kurulmasını gerektirir. Daha sonra ana eylemlerin, ikincil eylemlerin ve parametrelerin önceliklerinin /ağırlıklarının belirlenmesi için ikişerli karşılaştırma matrisleri oluşturulmalıdır. AHP nin akustik alanında kullanımına örnek ref [10] da verilmiştir.

3.2.1. Faktör listesi ve hiyerarşi modeli

Bu çalışmada temel amaç bina akustik performans belirlemesi olduğundan kurulan model ve akustik faktörler Şekil 1 de gösterilmiştir. Şekilde yer alan alt faktörler bu çalışmada kullanılmamıştır.



Şekil 1. AHP uygulamasında kullanılan hiyerarşi modeli

3.2.2. İkili karşılaştırma matrisi ve uzman değerlendirmeleri

Bina akustiği projelendirmede ve ulusal yönetmeliğin uygulanması alanında çalışma sertifikasına sahip 11 akustik uzman katkı sağlamıştır. Katılımcıların 7 adet akustik faktör için ikişerli olarak karşılaştırma ile birbirlerine göre bağıl önemliliklerine karar vermeleri ve kararlarını özel hazırlanan bir değerlendirme formu üzerinde göstermeleri istenmiştir (Şekil 2). Değerlendirmede 1-9 arası AHP ölçeği kullanılmıştır [11]. (1:Eşit önemde, 3:Orta derecede önemli, 5:Güçlü derecede önemli, 7:Çok güçlü derecede önemli ve 9:Aşırı önemli) (Ara dereceler de kullanılabilir.) 7 akustik faktör için 21 çiftli karşılaştırma matrisi uygulanmıştır.

Katılımcıların, yapacakları objektif ve subjektif değerlendirmede genel olarak binalarda en iyi akustik koşulların sağlanması hedefini düşünmeleri istenmiştir.

Elde edilen veriler AHP de öngörülen ikili karşılaştırma matrisinde yer almıştır. Bu çalışmada 7x7 elemanlı bir matris hazırlanmıştır.

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} \quad (n=7) \quad (1)$$

a_{ij} : Satırlar ve kolonlarda yeralan değerlendirme değerlerini gösteren matris elemanları (i^{th} and j^{th}). Matris A is ters (karşılıklı) sayıları kapsar ($a_{ji} = a_{ij}^{-1}$) ve tüm çapraz elemanlar 1 e eşittir ($a_{ij} = 1$ for $i=j$.) (Tablo 1).

Grup değerlendirmeleri: Bireysel verilerin geometrik ortalama alınarak grup karar matrisi elde edilmiştir. Grup değerleri kullanıldığında A_{ij} (or A) yerine A_{cons} (konsolide matris) kullanılmıştır ve a_{ij} ; grup matrisi elemanlarını göstermektedir. Grup matris için standart sapmalar da belirlenmiştir.

AKUSTİK PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ (ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ UYGULAMASI)

Konut binalarında akustik performans sınıfını belirlemek için değerlendirilecek faktörlerin göreceli önemlerini belirlemek için bir çalışma yapmaktayız. Sizce aşağıdaki ikili karşılaştırmaların her birisinde hangi faktör daha önemlidir? Seçtiğiniz faktörün değerine göre önemini 1 ile 9 arasında derecelendiriniz: 1- Eşit Önem, 3- Orta Önem, 5- Güçlü Önem, 7- Çok Güçlü Önem, 9- Aşırı Önemli (2,4,6,8 ara değerlerdirmeler).

Söz konusu faktörlerin fiziksel değerleri (objektif) ve kullanıcı açısından önemi (subjektif) birlikte değerlendirilmektedir. Eşit önemli kriterlerde hangisini işaretlediğiniz önem taşımamaktadır.

Lütfen aşağıdaki 21 ikili karşılaştırmayı tamamlayınız.

1)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	Önem derecesi: Seçiniz
2)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Döşeme darbe sesi yalıtımı	Önem derecesi: Seçiniz
3)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Çevresel gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
4)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ İç ortam arka plan gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
5)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Servis ekipmanları ve tesisat gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
6)	☐ Cephe hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Reverberasyon süresi	Önem derecesi: Seçiniz
7)	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Döşeme darbe sesi yalıtımı	Önem derecesi: Seçiniz
8)	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Çevresel gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
9)	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ İç ortam arka plan gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
10)	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Servis ekipmanları ve tesisat gürültü düzeyi	Önem derecesi: Seçiniz
11)	☐ İç bölme elemanları hava doğuşlu ses yalıtımı	☐ Reverberasyon süresi	Önem derecesi: Seçiniz
12)			

Şekil 2. Değerlendirme formu örneği

$$A_{cons} = [a_{ij \text{ cons}}] \quad (2)$$

- Matris elemanlarının geometrik ortalamaları:

$$a_{ij \text{ cons}} = \left(\prod_{k=1}^K a_{ij} \right)^{1/K} \quad (3)$$

K: Katılımcı sayısı = 11

CR	0.010
-----------	-------

Sonuçların kabul edilebilirlik kontrolü: $CR \leq 0.1$

A^* : Grup normalize matrisi ve a_{ij}^* : Grup normalize matris elemanlarıdır.

- **Ağırlıklandırma matrisi:** Yukarıda hesaplanmış ağırlıklar, temel A matrisindeki her elemanın değeri ile çarpılarak ve satır toplamı (i) alınarak bulunur:

$$(AW)_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j \quad (8)$$

$(AW)_i$: Ağırlıklı matris (kolon matris) (i) : Matris satırlar 1

3.2.4. Tutarlılık oranı belirlemesi (CR)

Tutarlılık oranı (consistency ratio, CR) ve ortalama rastlantısal indeks (average random index) (RI_n) yardımıyla elde edilir (Saati):

$$CR = CI/RI_n \quad (9)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}, \quad (10)$$

n : Matris boyutu and λ_{max} : Vektör özdeğeri (eigenvalue) ve güç yöntemine göre tahmin edilmektedir [12]:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n ((AW)_i / (n W_i)) \quad (11)$$

Raslantısal indeks, RI_n ; Tablo 2b den bulunur:

Tablo 2b. RI_n nin faktör sayısına göre belirlenmesi

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Kabul veya reddetme kriteri $CR < \%10$ dur. $CR < \%20$ kabul edilemez. Bu durumda yanıtlar kontrol edilmelidir [11].

3.2.5. Akustik faktörlerin önceliklendirilmesi

Ağırlıklar 0-1 arası sayılar ile faktör listesindeki sıralamaya göre dağıtılır. Temel hedefin önceliği 1000 dir. Kalite sıralama tablolarında (excel sayfası) veya diyagramlarda gösterilir. Her i faktörünün önceliği P_i ; ağırlıklı toplama modeline göre hesaplanmıştır:

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}^* W_j \quad (12)$$

a_{ij}^* : A^* matrisinde yer alan normalize edilmiş değerler .

W_i : Ağırlık faktörü $i=1$ to n .

Her faktörün (i) ağırlığı P_i , grup matris değerlerinden elde edilir ve ağırlıklı toplama işlemi uygulanarak bulunur.

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}^{*cons} W_j \quad (13)$$

a_{ij}^{*cons} : A^* matrisinin ağırlıklı grup değerleri

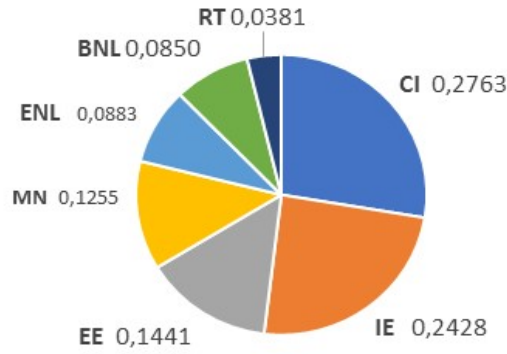
W_i : i faktörünün ağırlığı $i= 1$ to n .

Grup değerlendirmelerinin geometrik ortalamalarından elde edilmiş ağırlıklı normalize matris değerleri (derecelendirme için 1000 ile çarpılmış ve en yüksekte aşağıya sıralanmıştır). Tablo 3. Sonuçlar Şekil 3 teki polar diyagramda da verilmiştir.

Tablo 3. Grup sonuçlarına dayalı akustik faktörlerin ağırlık ve puanları

Akustik faktörler	Ağırlıklar	X1000	Öncelik
CI – Tavanda darbe sesi yalıtımı	0.28	276	1
IE - Bina içi elemanların hava doğuşlu ses yalıtımı	0.24	243	2
EE - Dış elemanların hava doğuşlu ses yalıtımı	0.14	144	3
MN - Mekanik ekipman gürültüsü düzeyi	0.13	126	4
ENL - Çevresel gürültü düzeyi	0.09	88	5
BNL - İç gürültü düzeyi (arkaplan)	0.08	85	6
RT - Ortak alan reverberasyon süresi	0.04	38	7

*Denklem (13) ($=W_i$)



Şekil 3. Sonuçların polar diyagramda gösterimi

3.2.7. Akustik sınıf değerlerinin (puanlarının) belirlenmesi

Akustik sınıfların ağırlıkları: Yöntemde ISO/TS 19488 de önerilen akustik ölçümlere dayalı olarak sınıfların belirlenmesinde kullanılan ($A-F$) sistemi, eşit aralıklı ve 6-noktalı Likert ölçeğidir [14]. Sınıfların birbirine göre ağırlıkları AHP uygulandığında (1-9 arası derecelenmeye göre) 1,6 bulunmuştur. (Tablo 4)

$C = [c_{ij}]_{6 \times 6}$ ve normalize matris C^*_{ij} hesaplanmıştır. Daha sonra akustik sınıf ağırlıkları W_i (or WC_i) elde edilmiştir. Tablo 4 sonuçların geçerlilik testini de vermektedir.

Tablo 4. Akustik sınıf ağırlıklarının hesaplanması

	A	B	C	D	E	F				
C_{ij}	c_{1j}	c_{2j}	c_{3j}	c_{4j}	c_{5j}	c_{6j}				
Mükemmel- A	1,00	2,60	4,20	5,80	7,40	9,00				
Çok iyi- B	0,38	1,00	2,60	4,20	5,80	7,40				
İyi - C	0,24	0,38	1,00	2,60	4,20	5,80				
Geçer- D	0,17	0,24	0,38	1,00	2,60	4,20				
Zayıf- E	0,14	0,17	0,24	0,38	1,00	2,60				
Çok zayıf(belirlenemez) - F	0,11	0,14	0,17	0,24	0,38	1,00				
Kolon toplamı	2,04	4,53	8,60	14,22	21,38	30,00		Sınıf ağırlıkları	Ağırlıklı matris elemanı	
C^*_{ij}	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	C_{4j}	C_{5j}	C_{6j}	V_i	W_i	$(cW)_i$	$(cW)_i/(nW_i)$
Mükemmel- A	0,49	0,57	0,49	0,41	0,35	0,30	2,61	0,43	2,83	1,09
Çok iyi- B	0,19	0,22	0,30	0,30	0,27	0,25	1,52	0,25	1,66	1,09
İyi - C	0,12	0,08	0,12	0,18	0,20	0,19	0,89	0,15	0,94	1,06
Geçer- D	0,08	0,05	0,04	0,07	0,12	0,14	0,51	0,09	0,53	1,02
Zayıf- E	0,07	0,04	0,03	0,03	0,05	0,09	0,29	0,05	0,29	1,01
Çok zayıf(belirlenemez) - F	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,17	0,03	0,18	1,02
Ters çevrilmiş W_i	0,43	0,25	0,15	0,09	0,05	0,03	6,00	---	---	---
							n			
									λ_{max}	6,29
									RI	1,24
									CI	0,06
								<0,1 kabul	CR	0,05

	Eşit aralıklı ikişerli matris						Normalize değerler									
Sınıflar	A_{1j}	A_{2j}	A_{3j}	A_{4j}	A_{5j}	A_{6j}	A_{1j}	A_{2j}	A_{3j}	A_{4j}	A_{5j}	A_{6j}	V_i	W_i	$(AW)_i$	$(AW)_i/(nW_i)$
A	1.0	2.6	4.2	5.8	7.4	9.0	0.49	0.57	0.49	0.41	0.35	0.30	2.61	0.434	2.83	1.087
B	0.4	1.0	2.6	4.2	5.8	7.4	0.19	0.22	0.30	0.30	0.27	0.25	1.52	0.254	1.66	1.090
C	0.2	0.4	1.0	2.6	4.2	5.8	0.12	0.08	0.12	0.18	0.20	0.19	0.89	0.148	0.94	1.060
D	0.2	0.2	0.4	1.0	2.6	4.2	0.08	0.05	0.04	0.07	0.12	0.14	0.51	0.086	0.53	1.023
E	0.1	0.2	0.2	0.4	1.0	2.6	0.07	0.04	0.03	0.03	0.05	0.09	0.29	0.049	0.29	1.006
F	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	1.0	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.17	0.029	0.18	1.021
top	2.04	4.53	8.60	14.22	21.38	30.00							6.00			
															λ_{max}	6.287
															RI	1.24
															CI	0.057
															CR	0.046

Puanların sınıflara göre dağılımı: Faktör puanları $A-F$ arasındaki 6 sınıfa (kategori) dağıtılmış ve dağıtımda geometrik sayı dizisi kullanılmıştır [15]. A sınıfı en yüksek puanlı olarak alınarak diğer oransal değerler bulunmuştur. Sonuçta her akustik performans faktörü için sınıf puanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$I_i = W_i * \left(\frac{W_{iclass}}{W_{Aclass}} \right) \quad (14)$$

Sonuçlar **Tablo 5** te verilmiştir.

Tablo 5. Binanın akustik performansını değerlendirmekte kullanılacak puanlama kartı (temel değerlendirme matrisi)

Ağırlıklara göre sıralanmış performans faktörleri	Faktör ağırlıkları ($W_i \times 1000$)	Sınıflara göre normal dağıtılmış değerler					
		F	E	D	C	B	A
		0.03	0.05	0.09	0.15	0.25	0.43
CI – Tavanda darbe sesi yalıtımı	276	18	31	54	94	162	276
IE - Bina içi elemanların hava doğuşlu ses yalıtımı	243	16	27	48	83	142	243
EE - Dış elemanların hava doğuşlu ses yalıtımı	144	10	16	28	49	84	144
MN - Mekanik ekipman gürültüsü düzeyi	126	8	14	25	43	73	126
ENL - Çevresel gürültü düzeyi	88	6	10	17	30	52	88
BNL - İç gürültü düzeyi (arkaplan)	85	6	10	17	29	50	85
RT - Ortak alan reverberasyon süresi	38	3	4	7	13	22	38
	1000	66	112	197	342	585	1000

3.3. Temel karar matrisi ve “akustik performans indeksi”

Tablo 5, 7 akustik faktörün 6 akustik sınıf için aldığı puanları vermektedir. Binanın toplam puanlaması için uygulanacak sürecin adımları şunlardır:

1. Değerlendirilecek binada ISO/TS 19488 de belirtilen ölçümler yapılarak her parametre için ayrı ayrı akustik sınıf belirlenir. Ulusal yönetmelikte bu sayı 7 dir.
2. Temel puanlama matrisinde her faktör için belirlenen sınıflar matris üzerinde işaretlenir. İlgili matris değeri okunur.
3. Faktörlerin matris değerleri toplamı alınarak binanın kazandığı toplam puan (performans indeksi) belirlenir. Örneğin Tablo 5 deki örnekte binanın akustik indeksi; $367/1000 = 0.4$ olarak belirtilir. (veya 4/10)

Tablo 6 da bir uygulama örneği verilmiştir. Sınıf ağırlıklarının faktörlere göre dağılımı Şekil 6 da görülebilir. Sınıf puanlarının akustik faktörlere göre dağılımı bir üstel fonksiyon tipini göstermektedir. A sınıfının denklemi Şekilde verilmiştir. Bazı araştırmacılar, akustik faktör değerlerinin sınıflara dağıtılmasında sınıf ve faktör ağırlıklarının çarpımını da kullanmaktadırlar ($W_i \times W_{ci}$). Yukarda önerilen yaklaşım BREEAM yönteminde de uygulanmakta olup puanlamaların tanımlaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır: Değerlendirme yapılamaz (< %30), geçer (> %30), iyi (> %45), çok iyi (> %55), mükemmel (> %70) ve üstün (> %85).

4. SONUÇ

Binaların akustik performansının değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler uygulanmakla birlikte ülkemizde ISO/TS 19488 e dayalı olarak çıkarılmış Binaların Gürültüden Korunması yönetmeliği bulunmaktadır. Bu çalışmada, yukardaki dokümanlarda yeralan; binalarda akustik sınıflandırma sistemi yerine akustik derecelendirme yöntemi önerilmektedir. Akustik faktörlerin eşdeğer olmadıkları (belirli bir alt limiti sağladıktan sonra) ve öncelikleri bulunduğu gerçeğinden hareketle tek sayılı bir indeksin kullanılabilirliği araştırılmış ve bu amaçla bir süreç öngörülmüştür. Çalışma, katılımcı uzman/danışman sayısının artırılması için uluslararası düzeyde sürdürülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ISO/TS 19488:2021. Acoustics - Acoustic Classification of Dwellings, 2021 (reviewed and confirmed in 2023).
- [2] Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik , TC. Resmi Gazete, 2017. www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-7.
- [3] Kurra, S, Environmental Noise and Management, Wiley and Sons Publishing Co. 2017
- [4] Direktoratet for byggkvalitet. Byggteknisk Forskrift (TEK17). Veiledning om Tekniske Krav til Byggverk. (Regulations on Technical Requirements for Building Works), 2017. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17> . Last accessed 2024-04-10.
- [5] NS 8175:2019. Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper (Acoustic conditions in buildings - Sound classification of various types of buildings), Standard Norge, 2019.
- [6] BREEAM. New Construction / UK / 2014 / 02-Health and Wellbeing New Construction / UK / 2014 / 02-Health and Wellbeing, Hea 05- Acoustic performance, 2014. (reviewed and confirmed in 2024). <https://kb.breeam.com/wp-content/plugins/breeamkb-pdf/pdf/?c=100>. Last accessed 2024-04-10.
- [7] Saaty T.L.,The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill, 1980.
- [8] Taherdoost, H and Madanchian, M., Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts, Encyclopedia , 3(1),77-87, 2023.
- [9] K. Goepel, Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS), International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 10(3), 2018.
- [10] Kurra,S. “Sustainability considerations on environmental and building acoustics - an approach to sustainable acoustic management”, In Proceedings of the 29th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2023, Ed. E. Carletti. Prague, July 2023. (keynote paper).
- [11] Goepel K.D., Comparison of judgment scales of the Analytical Hierarchy Process - A new approach. International Journal of Information Technology and Decision Making, 18(2), 2019.
- [12] Grošelj, P. Stirn, L. Z., Ayrilmis, N., Kuzman, M. K. Comparison of some aggregation techniques using group Analytic Hierarchy Process. Expert Systems with Applications, 42, 2198–2204, 2015.
- [13] Saaty, T.L., Fundamentals of Decision Making and Priority Theory, RWS Publications: Pittsburgh, 2000.
- [14] Robbins N.B., Heiberger, R.M. Plotting Likert and Other Rating Scales, Section on Survey Research Methods – JSM 2011.
- [15] Larsen, R. 2013. Elementary linear algebra. Cengage Learning: Boston. 2013

MİLLÎ KÜTÜPHANE OKUMA SALONLARI AKUSTİK KONFOR KOŞULLARININ ULUSAL VE ULUSLARARASI MEVZUATLAR KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Betül Karakoç¹, Füsün Demirel², Zuhal Özçetin³, Merve Görkem⁴, Sebahat Gül İlisulu⁵, Ezgi Dadaş Arıkan⁶

¹⁻²⁻⁶Gazi Üniversitesi, Çankaya, Ankara, Türkiye
e-posta: bettulcolak@gmail.com, fusund@gazi.edu.tr, ezgidadas@gazi.edu.tr

³ Uşak Üniversitesi, Merkez, Uşak, Türkiye
e-posta: zuhal.ozcetin@usak.edu.tr

⁴ Mego Mimarlık ve Danışmanlık, Yenimahalle, Ankara, Türkiye
e-posta: mervedogangorkem@gmail.com

⁵ Başkent Üniversitesi, Etimesgut, Ankara, Türkiye
e-posta: islekg@baskent.edu.tr

ÖZET

Kütüphanelerin toplumsal, ekonomik ve teknolojik gelişmelerle kapsam ve koleksiyonlarını genişletmesiyle mekan gereksinimleri de değişmektedir. Akustik konforun sağlanması bu gereksinimlerden biridir. Bu bağlamda, akustik konfor koşullarını sağlamak amacıyla ulusal ve uluslararası mevzuat incelenerek performans kriterleri oluşturulmuştur. Yapılan arka plan gürültüsü ve ortalama reverberasyon süresi ölçümlerinde, Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu'nun (57,6 dBA - 1,57 s) sınır değerleri karşılamadığı, Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nun (33,4 dBA - 0,58 s) ise karşıladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütüphane okuma salonları, yönetmelik, mevzuat, performans kriterleri.

EXAMINATION OF ACOUSTIC COMFORT CONDITIONS IN NATIONAL LIBRARY OF TURKEY READING ROOMS SCOPE OF NATIONAL AND INTERNATIONAL REGULATIONS

ABSTRACT

As libraries adapt to social, economic, and technological changes, their spatial needs evolve as well. Acoustic comfort is one of these key needs. In this context, national and international standards were reviewed to set performance criteria for acoustic comfort. Measurements of background noise and average reverberation time showed that the Dr. Müjgan Cunbur Reading Room (57,6 dBA - 1,57 s) did not meet the required limits, while the Prof. Dr. Sabahattin Zaim Scholars' Room (33,4 dBA - 0,58 s) met the criteria.

Keywords: Library reading rooms, regulation, legislation, performance criteria.

1. GİRİŞ

Ana işlevi bilgi için kaynak olmak olan kütüphaneler; nüfus artışı, ekonomik koşulların değişmesi, eğitime verilen önemin artması, teknolojik gelişmeler gibi nedenlerle zamanla kapsam ve koleksiyonunu genişleterek değişmektedir. Buna bağlı olarak mekanların gereksinimi ve formu değişmektedir [1]. Değişim gösteren kütüphaneler okuma gibi yüksek konsantrasyon gerektiren eylemlerin gerçekleştirildiği mekanlar olması nedeniyle Millî Kütüphane'nin okuma salonlarında mevcut akustik durum, ulusal ve uluslararası mevzuatlar ışığında değerlendirilmiştir. 5 Ağustos 1983'ten beri Ankara'da bulunduğu binasında hizmet veren Millî Kütüphane [2] ele alınmıştır. Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu ve Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nun mevcut akustik konfor koşulları ulusal ve uluslararası mevzuatlar bağlamında incelenmiştir. Literatürde geçen “kütüphane okuma salonlarının akustik konfor koşulları” temalı çalışmaları içeren özet tablo aşağıdaki gibidir:

Tablo 1. Ulusal ve uluslararası araştırmalar

Yazar (Yıl)	Amaç ve Yöntem	Sonuçlar
Bradshaw ve diğerleri (2024)	Giyilebilir teknolojik cihazlarla ölçülen, gürültünün ve dikkat dağıtıcı ortamların kütüphane kullanıcılarının stres seviyeleri üzerindeki etkisini belirlemek Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Giyilebilir cihazlarla kalp atış hızı ile cilt sıcaklığı ölçümleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Kullanıcıların kişilik perspektifinden verileri analiz ederek, kütüphaneyi ziyaret etme amacının gözlemlenen stres üzerinde herhangi bir etkisi olup olmadığını belirlenmiştir. Daha fazla stresli olması beklenen kullanıcılar için, gürültülü ve sessiz koşullar arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Bulgular, kütüphanedeki gürültülü ortamların, kütüphane kullanıcıları için genellikle algılandığı kadar sorunlu olmayabileceğini göstermiştir [3].
Irawan ve diğerleri (2022)	Kütüphanedeki gürültü seviyesini ölçecek bir araç tasarlamak Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Tüm kullanıcıların kütüphaneye çalışmak için değil sohbet etmek, ücretsiz internete erişmek gibi amaçlarla gelerek çalışan kullanıcıların dikkatinin dağıldığını belirtmiştir. Kütüphanedeki gürültü seviyesini ölçecek bir araçla kütüphanecinin gürültüyü izlemesine yardımcı olması hedeflenmiştir. Sınır değeri aşan gürültü tespit edildiğinde uyarı için kaydedilmiş sesli mesajı verecek ve kırmızı ışık yakaçak bir denetleyici tasarlanmıştır [4].
Damián-Chávez ve diğerleri (2021a)	Çevresel gürültünün ortak alanlarda öğrencileri nasıl etkilediğini, 70-90 dBA arasında hangi seviyelerin rahatsız ettiğini araştırmak Anket yöntemi kullanılmıştır	*On altı kişilik bir gruba yapılan çalışmanın bulguları çevresel gürültünün izin verilen sınıır üzerinde olduğu durumlarda öğrenme alanlarında akademik çalışma yapmanın zor olduğunu, bunun da öğrencilerin performansını düşürdüğünü ve öğrencilerin elektrofizyolojik işlevlerini değiştirdiğini göstermektedir [5].
Damián-Chávez ve diğerleri (2021b)	Kütüphanelerdeki çevresel gürültünün kütüphanedeki öğrencilerin performansına olan etkisini araştırmak Anket yöntemi kullanılmıştır	*Farklı gruplara gürültülü ve sessiz ortamlarda ortak işbirlikçi faaliyetler gerçekleştirilerek öğrencilerin performansı ve fizyolojik tepkileri araştırılmıştır. Öğrencilerin sessiz ortamda çalıştığında yüksek performans gösterdiği gürültülü ortamlarda ise daha az bilişsel performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [6].
Brothánék ve diğerleri (2020)	National Library of Technology'nin akustik özelliklerini incelemek Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Tüm katları birbirine bağlayan merkezi bir atriymun rahatsız edici gürültüye neden olan temel sorunlardan biri olduğu söylenmiştir. Günlük kullanıcı iki binden fazla olan bir millî kütüphane için gürültü ve akustik parametreler arasındaki ilişki ve parametrelerin kütüphane akustik konforuna etkisi ortaya konmuştur [7].
Kızıltepe (2017)	İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Kütüphanesi'nde gürültü düzeylerini öğrenmek, rahatsızlık durumunu ve önlemleri belirlemek Ölçüm ve anket yöntemi kullanılmıştır	*Anket sonucunda kullanıcıların büyük bir kısmı kütüphanede gürültü sorunu yaşadığını belirterek bu durumdan olumsuz etkilendiklerini belirtmişlerdir. *Anket çalışması ve yapılan ölçümler sonucunda en çok rahatsızlık duyulan bölümün B Blok ortak çalışma alanı olması sebebiyle yeni malzemelerle iyileştirme önerisi geliştirilmiştir [8].
Lange ve diğerleri (2016)	Gürültü izleme aracının çalışma alanlarının gürültüsünü azaltmadaki etkisini araştırmak Ölçüm ve anket yöntemi kullanılmıştır	*Bulgular kütüphanedeki gürültü seviyesi üzerinde gürültü izleme cihazının bir etkisi olmadığını göstermektedir. Kütüphanelerde gürültünün azaltılmasına yönelik pek çok tasarım önerisi olmasına rağmen araştırma sayısının az olduğunu belirtmiştir [9].
Rajagopalan ve diğerleri (2016)	Melbourne'de bulunan yedi adet halk kütüphanesinin akustik konfor koşullarını araştırmak Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Sonuçlar, gürültü yönetimi stratejileri kullanılmasına rağmen gürültü seviyelerinin genellikle beklenenden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayak sesi, konuşma, ekipman sesi ve trafik gözlemlenen ana gürültü kaynaklarıdır. Çalışmada akustik koşulları iyileştirmeye yönelik öneriler yer almaktadır. Kütüphaneler, teknolojik ve toplumsal değişikliklere uyum sağlayarak dönüşse de uygun akustik koşullara sahip okuma alanlarının yoğun öğrenme için önemli olmaya devam ettiği söylenmektedir [10].
Xiao ve Aletta (2016)	Modern halk kütüphanelerinin akustik konfor koşullarını araştırmak Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Birmingham Kütüphane mekanlarında farklı gürültü seviyelerinde yapılan ölçümler mekanların konforunda akustik konforun belirleyici bir faktör olduğunu göstermiştir. Modern halk kütüphanelerine yönelik akustik konfor sağlama stratejileri tartışılmıştır [11].
Franks ve Asher (2014)	Güney Florida'da dört üniversite kütüphanesinde öğrencilerin ihtiyaçları için kütüphane alanlarını nasıl kullandığını tespit etmek Anket, röportaj ve gözlem yöntemi kullanılmıştır	*Sonuçlar grup çalışma alanlarının da gerekli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sesin katlar arasında yayılmasına izin veren asma kat tasarımlarının sessiz kullanım amacıyla belirlenmiş alanları etkilediği gözlemlenmiştir. Herhangi bir akademik kütüphanede gürültü sorunlarını en aza indirebilmek amacıyla çözüm önerileri sunulmuştur [12].
Yelinek ve Bressler (2013)	Akademik kütüphanelerde artan gürültü seviyeleriyle ilgili literatür incelemesini sunmak Literatür incelemesi yöntemi kullanılmıştır	*Yeni teknolojilerin ve değişen kütüphaneci rollerinin akademik kütüphanelerde gürültü seviyelerinde artışa yol açtığını belirtmiştir. Öğrencilerin çalışma alanları ve gürültü seviyeleri konusunda seçenekler talep etmekte olduğu ve birçok kütüphanenin kullanıcılarına seçenekler sunduğu belirtilmiştir. Kütüphanelerde gürültünün azaltılmasında tefiş düzenlenmesi, tabelalar tasarlanması ve kullanıcı desteği sonuçları etkilemiştir [13].
Gordon-Hickey ve Lemley (2012)	Bilişsel görevler sırasında gürültü ortamları ya da sessizliği tercih eden üniversiteli iki grup öğrencinin arka plan gürültü seviyesi kabulünü ve kişisel faktörlerinin etkisini araştırmak Anket yöntemi kullanılmıştır	*Sonuçlar kütüphane kullanıcılarının kişilik faktörlerinin çalışma ortamındaki akustik ortam tercihlerinde önemli bir etken olmadığını göstermiştir. Ancak okuma, konuşma ya da dinleme aktiviteleri sırasında ölçülen arka plan gürültüsünün kabulünün çalışma ortamı seçimiyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, kütüphanedeki öğrencilerin akustik çalışma ortamı ihtiyaçlarını kendi kendilerine değerlendirdiklerini göstermiştir [14].
Ntui (2009)	Calabar Üniversitesi Kütüphanesi'ndeki kütüphane kullanıcıların rahatsız eden gürültü seviyelerini ve gürültü kaynaklarını belirlemek Ölçüm ve anket yöntemi kullanılmıştır	*Kütüphanedeki gürültü seviyelerinin yüksek olduğu (Sonuçlar 43,5-88,5 dBA arasındadır.) ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen kabul edilebilir gürültü seviyesini aştığı sonucuna ulaşılmıştır. Anket bulguları gürültünün kütüphane kullanıcıları için dikkat dağıtıcı olduğudur. Uygulandığında kütüphanedeki gürültüyü azaltacak ve DSÖ standartlarına uygun hale getirecek öneriler sunulmuştur [15].
McDiarmid ve Tatum (1938)	Baylor Üniversitesi Kütüphanesi'nin kütüphanedeki gürültü kaynaklarını ve seviyelerini keşfetmek Ölçüm yöntemi kullanılmıştır	*Ölçümlerle arka plan gürültüsünün azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Mevcut akustik durumun iyileştirilebilmesi için kütüphanedeki ses yutucu elemanların artırılarak reverberasyon süresinin kısaltılması önerilmiştir. Yeni bir kütüphane binası planlanırken arka plan gürültüsünü azaltmak amacıyla kampüs merkezinden uzakta olması ve servis ekipmanlarının minimum ses üretecek türden seçilmesi önerilmiştir [16].

2. KÜTÜPHANE BİNALARINDA AKUSTİK KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN PERFORMANS KRİTERLERİ OLUŞTURULMASI

Kütüphane binalarında akustik konfor koşullarının sağlanmasına ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuata ilişkin yapılan inceleme sonucunda; kütüphane okuma salonları için ulusal mevzuata göre performans kriterleri oluşturulmuştur. Kütüphane binalarında sağlanması gereken uygun akustik konfor şartlarına dair sınır değerler aşağıdaki ulusal ve uluslararası mevzuat kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamı öncelikle ulusal mevzuat olduğundan veriler ve sınır değerler içi ülkemizde 2017 yılında yürürlüğe giren Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'ten (BGKKHY) [17] yararlanılarak performans kriteri oluşturulmuştur. Millî Kütüphane salonlarında yapılan ölçümler kapsamında değerlendirilen sınır değerler göz önünde bulundurularak Tablo 2 hazırlanmış olup kütüphane binalarında akustik konfor koşulları açısından performans kriterleri ana başlıkları aşağıdaki gibidir:

1.	ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ
2.	GÜRÜLTÜLÜLÜK VE GÜRÜLTÜYE HASSASİYETİN BELİRLENMESİ
3.	GÜRÜLTÜNÜN ÖZNELİĞİNİN AÇIKLANMASI VE HEDEF PERFORMANS SINIFI
3.1.	Mekanların Akustik Performans Sınıflandırmasının Dayandığı Öznel Değerlendirmeler
3.2.	Hedeflenen Performans Sınıfı
4.	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI İÇİN SINIR DEĞERLER
4.1.	Ses Yalıtımına İlişkin Sınır Değerler
4.2.	İzin Verilen İç Gürültü Düzeyleri
4.3.	İzin Verilen Reverberasyon Süresi
5.	MEKANİK SİSTEMLERDE GÜRÜLTÜ KONTROL KURALLARI
5.1.	Havalandırma Kanallarında Gürültü Kontrolü
5.2.	Ekipman Gürültüsü Kontrolü
5.3.	Mekanik Merkezlerde Gürültü ve Titreşim Kontrolü
6.	AKUSTİK PERFORMANS BELİRLEME YÖNTEMİ
6.1.	Akustik Performans Belgesinin Kapsamı

Şekil 1. Kütüphanelerde akustik konfor koşulları açısından performans kriterleri ana başlıkları

Tablo 2. Kütüphane binalarında akustik konfor koşulları açısından performans kriteri

4. AKUSTİK PERFORMANS SINIFI İÇİN SINIR DEĞERLER	4.3. İzin Verilen Reverberasyon Süresi	Çeşitli mekanlarda izin verilen reverberasyon süresi en yüksek sınır değerleri aşağıdaki gibidir. Bu değerler yapı elemanlarından istenen en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerlerinin hesaplanmasında kullanılır [17: Madde 11-1]:		
		Tablo 3. Akustik performans sınıfına bağlı olarak sağlanacak en yüksek reverberasyon süreleri ¹ [17, EK-6/Tablo 6.1]		
		BİNA İŞLEVİ	MEKAN	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI
				C – D ²
		Kültürel Tesisler	Kütüphaneler	0,8
Sirkülasyon Alanları ³	1,2			
¹ Verilen sınır değerler 250, 500, 1000, 2000 Hz frekanslarındaki değerlerin aritmetik ortalamasıdır.				
² Burada belirtilen sınır değerler C ve D sınıfları için geçerlidir. Bina işlevlerine bağlı olarak diğer sınıflar için sınır değerlere uluslararası sınır değerlere bağlı olarak akustik uzman karar verecektir.				
³ Sirkülasyon alanı: Koridorlar, bekleme holü, merdiven holü, antre, giriş holü gibi ortak alanları ifade eder.				

3. MİLLÎ KÜTÜPHANE OKUMA SALONLARININ AKUSTİK KONFOR KOŞULLARININ İNCELENMESİ

a. Millî Kütüphane Hakkında Genel Bilgiler

Millî Kütüphane günümüzde Ankara'da Çankaya ilçesinde Bahçelievler semtinde İsmet İnönü Bulvarı üzerinde 4 numarada bulunmaktadır. 23 Mart 1950'de 5632 sayılı Millî Kütüphane Kuruluşu Hakkında Kanun çıkarılmasıyla kanunla kurulan ilk ve tek kütüphane

olma niteliğini kazanmıştır. İnşa çalışmaları 1983 yılında tamamlanmış olup 5 Ağustos 1983 tarihinde devlet töreniyle yeni binasında devlet töreniyle açılarak hizmete başlamıştır [2].

Millî Kütüphane’de 1064 kişinin aynı anda yararlanabildiği dört adet okuma salonu bulunmaktadır. Bu salonlardan Adnan Ötüken Okuma Salonu ve Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu ikinci katta, Halide Edip Adıvar Okuma Salonu ve Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Okuma Salonu üçüncü katta bulunmaktadır [18].

Millî Kütüphane ikinci katında 448 kişilik Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu bulunmaktadır. Duvarlar ve tavan plastik boyalıdır. Tavanda ahşap asma tavan ve eğik kesitli betonarme kirişler bulunmaktadır. Okuyucu masaları ahşap olup, sandalyeler kumaşla kaplanmıştır. Millî Kütüphane üçüncü katında 83 kişilik Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu bulunmaktadır. Duvarlar plastik boyalıdır. Tavanda akustik perfore karo asma tavan kullanılmıştır. Salonda ahşap okuyucu masaları arasında kumaşla kaplanmış bölücüler vardır. Okuyucu sandalyeleri kumaş kaplanmıştır. Her iki salonda da 30x60 cm kesitinde havalandırma kanalları vardır. Salonlar pencereler ile doğal yolla havalandırılmaktadır. Isıtma ve soğutma fancoil ile sağlanmıştır. Salonlarda döşeme kaplaması halıdır. Salonların pencereleri, genel ve okuyucu aydınlatmaları vardır. Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu’nun, camlı bölmelerle Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu’ndan ayrılmış olması, Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu’nun akustik ortamını olumlu etkilemektedir.

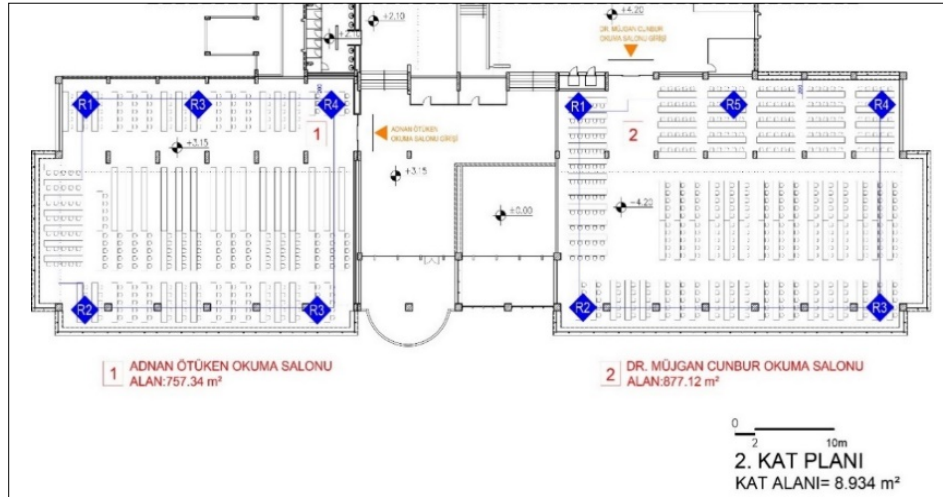
b. Millî Kütüphane Okuma Salonlarındaki Gürültü Seviyelerinin Ölçümler Aracılığıyla Ortaya Konması ve Değerlendirilmesi

Millî Kütüphane’de yapılan akustik alan ölçümlerinin yapıldığı kaynak ve alıcı noktaları belirlenirken literatürde yapılmış çalışmalar [10, 19] dikkate alınmıştır. Ölçüm günü için resmî tatil olması nedeniyle kütüphanenin kullanıcılara kapalı olduğu 19 Mayıs 2024 için Kütüphaneler ve Yayınlar Genel Müdürlüğü’nden çalışma izni alınmıştır. Ölçüm saat 09:00 ve 13:30 arasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sırasında sıcaklık 23°C’dir.

Millî Kütüphane’de ölçüm yapılan okuma salonları ikinci katta bulunan Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu ve üçüncü katta bulunan Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu’dur. Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu, cam bölmelerle Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu’ndan fiziksel olarak ayrılmış durumdadır. Adnan Ötüken Okuma Salonu ve Halide Edip Adıvar Salonu arasında fiziksel bir bölme olmaması nedeniyle bağlantı kabloları açısından ölçüm kolaylığı sağlamaması ve Adnan Ötüken Okuma Salonu ile Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu’nda ölçülen arka plan gürültüsünde anlamlı bir fark olmaması nedeniyle, Millî Kütüphane ikinci katında bulunan Adnan Ötüken Okuma Salonu ve üçüncü katında bulunan Halide Edip Adıvar Okuma Salonu ölçüm yapılacak salonlar olarak seçilmemiştir (Tablo 4).

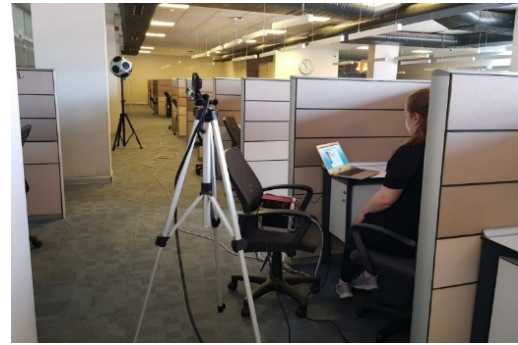
Tablo 4. Millî Kütüphane okuma salonlarının ortalama arka plan gürültüsü düzeyi (dBA)

Adnan Ötüken Okuma Salonu					Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu				
R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
57	58	59	55	58	54	58	60	59	57
Ortalama: 57,4 dBA					Ortalama: 57,6 dBA				



Şekil 2. Millî Kütüphane okuma salonları arka plan gürültüsü ölçüm noktaları [18]

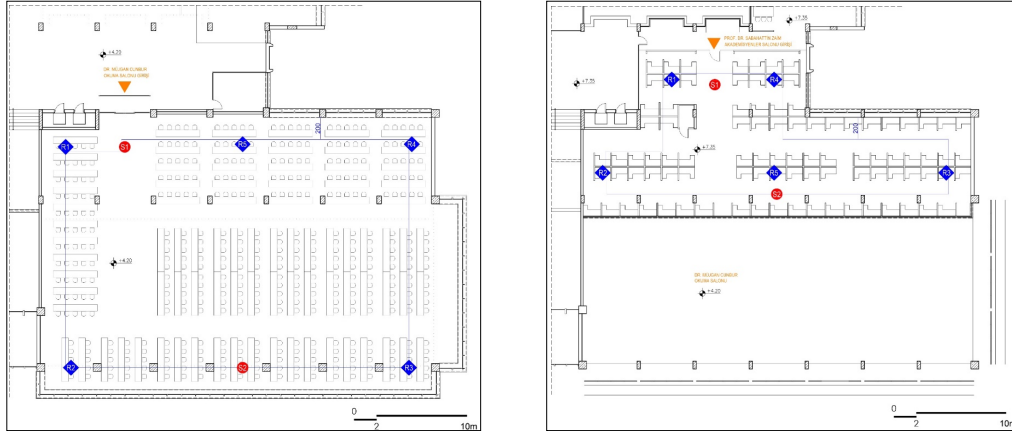
Dr. Müjgan Cumbur Okuma Salonu ve Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nda kullanıcı yokken yapılan ölçümlerde kullanılan cihazlar; ses kaynağı (122dB-re:1 pW), 4192 ½ inç mikrofon, Scarlett 2i2 ses kartı, bağlantı kabloları ve ses düzeyi ölçerdir.



Resim 1. Millî Kütüphane okuma salonları ölçümü [20]

Ölçümler sırasında çok yönlü ses kaynağı kullanılmıştır. Kaynağın yerden yüksekliği 1,5 metre, alıcının yerden yüksekliği 1,2 metredir. Kaynak ve alıcı noktaları arasındaki minimum mesafe 2 metredir. Kaynak ve alıcı noktaları ile okuma salonu duvarları arasındaki minimum mesafe 2 metredir. Okuma salonunda olası senaryolara yönelik 2 kaynak noktası (okuma salonu girişine yakın ve cepheye yakın noktada) belirlenmiştir. Okuma salonunda olası senaryolara yönelik 5 alıcı noktası (okuma salonu köşelerinde ve köşe ölçümleri hizasında okuma salonu merkezine yakın noktada) belirlenmiştir. Kütüphane kat planlarında işaretlenen kaynak noktaları S harfi ile, alıcı noktaları R harfi ile gösterilmiştir (Şekil 3).

Okuma salonlarının oturma düzeni dikkate alınarak belirlenen R1,2,3,4,5 alıcı noktaları için arka plan gürültüsü ve reverberasyon süresi ölçümü S1,2 noktalarında konumlandırılan çok yönlü kaynaktan tüm frekanslarda aynı ses düzeyine sahip pembe gürültü sinyali verilerek 63 Hz ve 8000 Hz arasındaki frekanslarda yapılmıştır. Yapılan ölçümler sırasında genel aydınlatmalar açık; ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme ekipmanları kapalıdır. Ölçümlere başlamadan okuma salonunun pencereleri ve kapıları kapatılmıştır. Okuma salonlarında seçilen ölçüm noktaları ve ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir (Şekil 3, Tablo 5, Tablo 6):



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Millî Kütüphane okuma salonları kaynak ve alıcı noktaları [18]

Tablo 5. Ölçülen arka plan gürültüsü değerleri (dBA)

Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu Alıcı Noktaları					Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu Alıcı Noktaları				
R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
54	58	60	59	57	33	30	42	30	32
Ortalama: 57,6 dBA					Ortalama: 33,4 dBA				

Tablo 6. Ölçülen T30 değerleri (s)

Ölçüm Noktası	Bant	Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu								Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu							
		Frekans (Hz)								Frekans (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
S1R1	T30 (s)	***	2,17	1,84	1,62	1,34	1,17	1,16	0,91	0,97	0,82	0,56	0,6	0,59	0,57	0,52	0,46
S1R2	T30 (s)	***	2,5	1,96	1,65	1,4	1,26	1,09	0,89	0,9	0,83	0,69	0,61	0,64	0,61	0,61	0,55
S1R3	T30 (s)	***	2,08	1,83	1,65	1,51	1,32	1,15	0,91	0,93	1,61	0,87	0,69	0,7	0,68	0,66	0,6
S1R4	T30 (s)	***	2,12	1,85	1,64	1,49	1,35	1,17	0,97	0,92	0,83	0,64	0,58	0,6	0,58	0,53	0,48
S1R5	T30 (s)	***	2,48	2,05	1,62	1,38	1,27	1,16	0,95	***	1,26	0,67	0,6	0,76	0,63	0,57	0,51
S2R1	T30 (s)	***	2,24	1,98	1,68	1,46	1,3	1,12	0,95	***	1	0,77	0,58	0,62	0,61	0,6	0,59
S2R2	T30 (s)	***	2,44	2,04	1,65	1,45	1,28	1,1	0,89	1,54	1,7	0,78	0,6	0,59	0,63	0,63	0,6
S2R3	T30 (s)	***	2,38	2,05	1,58	1,47	1,3	1,12	0,89	1,08	2,49	0,81	0,65	0,6	0,62	0,62	0,54
S2R4	T30 (s)	***	2,37	1,9	1,6	1,44	1,32	1,14	0,93	1,44	1,1	0,72	0,58	0,58	0,58	0,59	0,6
S2R5	T30 (s)	***	2,38	1,89	1,65	1,45	1,3	1,1	0,91	0,98	0,72	0,56	0,53	0,55	0,53	0,53	0,42
Ortalama	T30 (s)	***	2,316	1,939	1,634	1,439	1,287	1,131	0,92	0,97	0,82	0,56	0,6	0,59	0,57	0,52	0,46
Ortalama T30		Ortalama T30 ₂₅₀₋₅₀₀₋₁₀₀₀₋₂₀₀₀ Hz (s): 1,57								Ortalama T30 ₂₅₀₋₅₀₀₋₁₀₀₀₋₂₀₀₀ Hz (s): 0,58							

Okuma salonlarında yapılan ölçüm sonuçlarının ulusal mevzuata göre belirlenen performans kriteri bağlamında değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir:

Tablo 7. Ölçüm sonuçlarının performans kriteri bağlamında değerlendirilmesi

PERFORMANS KRİTERİ	SINIR DEĞERLER	SONUÇLAR		
		Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu	
İzin Verilen Reverberasyon Süresi	Tablo 8. Akustik performans sınıfına bağlı olarak sağlanacak en yüksek reverberasyon süreleri ¹ [17, EK-6/Tablo 6.1]		1,57 s	0,58 s
	MEKAN	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI		
		C – D ²		
	Kütüphane	0,8		
	¹ Verilen sınır değerler 250, 500, 1000, 2000 Hz frekanslarındaki değerlerin aritmetik ortalamasıdır.			
	² Burada belirtilen sınır değerler C ve D sınıfları için geçerlidir. Bina işlevlerine bağlı olarak diğer sınıflar için sınır değerlere uluslararası sınır değerlere bağlı olarak akustik uzman karar verecektir.			
		UYGUN DEĞİL	UYGUN	

Okuma salonlarında yapılan ölçüm sonuçlarının çalışma kapsamında incelenen uluslararası mevzuata göre değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir:

Tablo 9. Ölçüm sonuçlarının uluslararası mevzuat bağlamında değerlendirilmesi

YÖNETMELİK	SINIR DEĞERLER		SONUÇLAR	
	İç Ortam Gürültü Seviyesi (dBA)	Reverberasyon Süresi (s)	Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu
BB 93 [21]	Sınır değer bulunmuyor	≤1,2	1,57 s UYGUN DEĞİL	0,58 s UYGUN
BS 8233 [22]	40 - 50	Sınır değer bulunmuyor	57,6 dBA UYGUN DEĞİL	33,4 dBA UYGUN

Ülkemizde yürürlükte olan BGKKHY’de reverberasyon süresi için “Burada belirtilen sınır değerler C ve D sınıfları için geçerlidir. Bina işlevlerine bağlı olarak diğer sınıflar için sınır değerlere uluslararası sınır değerlere bağlı olarak akustik uzman karar verecektir.” notu yer almaktadır [17]. Bu nedenle ölçümlerin uluslararası mevzuata göre değerlendirmesinde aynı fonksiyonlu ancak farklı büyüklükteki hacimlerde reverberasyon süresinin değerlendirilebilmesi için hacmin boyutlarına göre reverberasyon süresi belirlemiş olan DIN 18041:2016 [23] incelenmiştir. Okuma salonlarının boyutları aşağıdaki gibidir:

Tablo 10. Millî Kütüphane okuma salonları boyutları

YÜKSEKLİK (m)		HACİM (m ³)	
Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu	Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu
7,07	2,77	4753	1086

DIN 18041:2016 standardına göre kütüphaneler, insanların daha uzun süre bir araya gelmesinin beklendiği, konuşma için iyi koşulların kullanım sırasında önemli olma ihtimalinin yüksek olduğu sürekli yaşam olmayan mekanlar olarak tanımlanan B3 grubundadır. B kategorisi için reverberasyon kontrolüne yönelik öneriler, hacmin toplam ses yutuculuğu(A) ile oda hacmi(V) arasındaki oran biçimindedir (Tablo 11) [23].

Tablo 11. B3 grubu için DIN 18041:2016’ya göre A/V oranına ilişkin sınır değerler [23]

KULLANIM TİPİ	ODA YÜKSEKLİĞİ h≤2,5 m	ODA YÜKSEKLİĞİ h>2,5 m
B3	$A/V \geq 0,20$	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \times \log (h/1 \text{ m})]^{-1}$

Tablo 12. B3 grubu kullanım için oda yüksekliğine göre A/V sınır değerinin bulunması

OKUMA SALONU	YÜKSEKLİK (m)	DIN 18041:2016’YA GÖRE ODA YÜKSEKLİĞİ h>2,5 m olduğunda kullanılacak formül	
Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	7,07	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \times \log (h/1 \text{ m})]^{-1}$ $A/V \geq [3,13 + 4,69 \times \log (7,07)]^{-1}$	$A/V \geq 0,141 \text{ m}^3$
Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu	2,77	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \times \log (h/1 \text{ m})]^{-1}$ $A/V \geq [3,13 + 4,69 \times \log (2,77)]^{-1}$	$A/V \geq 0,192 \text{ m}^3$

Tablo 13. Millî Kütüphane okuma salonlarındaki A/V değerinin bulunması [24]

SABINE FORMÜLÜ VE ÖLÇÜM SONUÇLARI KULLANILARAK OKUMA SALONLARINDAKİ A/V DEĞERİNİN BULUNMASI			
Sabine Formülü		Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu
$RT= 0.16 \frac{V}{\sum A}$		$1,57= 0.16 \frac{V}{\sum A}$	$0,58= 0.16 \frac{V}{\sum A}$
RT: reverberasyon süresi (s)		$\frac{\sum A}{V}=0,102 \text{ m}^3$	$\frac{\sum A}{V}=0,276 \text{ m}^3$
$\sum A=\sum (S_i \times \alpha_i)$			
S: alan (m²)			
V: hacim (m³)			
A: hacmin toplam ses yutuculuğu (sabin)			
A: ses yutuculuk katsayısı			

Tablo 14. Millî Kütüphane okuma salonlarının A/V değerlerinin DIN 18041:2016'ya [23] göre değerlendirilmesi

OKUMA SALONU	MEVCUT A/V DEĞERİ (m ³)	DIN 18041:2016'YA GÖRE A/V SINIR DEĞERİ (m ³)	SONUÇLAR
Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu	0,102	0,141	0,102 $\geq$ 0,141 UYGUN DEĞİL
Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu	0,276	0,192	0,276 $\geq$ 0,192 UYGUN

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

21. yüzyılda toplum liderliği sağlayan mekanlar olarak kütüphaneler çeşitli programlar sunan bir kültür merkezidir. Kütüphane işleyişinde değişiklikler yaşansa da okuma ve çalışma için sessiz okuma ve çalışma alanı gerekliliği hala devam etmektedir. Bu nedenle kütüphanelerin kullanıcıları kütüphaneyi kullanmaya teşvik edebilmesi için gürültü bir konfor kriteri olarak ele alınarak kütüphane tasarımında akustik tasarım mimari tasarımla bütünleşmiş olmalıdır.

Kütüphane okuma salonlarının akustik konfor koşullarına yönelik olarak ulusal ve uluslararası mevzuatta yer alan sınır değerleri incelenmiştir. Ulusal mevzuatımız olan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik [17] kapsamında kütüphane binaları için akustik performans kriteri oluşturulmuştur. Millî Kütüphane'de Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu ve Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu ölçüm yapılmak üzere seçilmiştir. Salonlarda arka plan gürültüsü ve reverberasyon süresini öğrenmek amacıyla ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sırasında ODEON 15.15 Combined versiyonu ve ses düzeyi ölçer kullanılmıştır. Ulusal ve uluslararası mevzuata göre belirlenen performans kriteri doğrultusunda okuma salonlarının mevcut akustik konfor koşulları değerlendirilmiştir.

Ölçümler ışığında değerlendirilen performans kriterine göre Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu mevcut akustik koşulları akustik performans sınıfına bağlı olarak sağlanacak en yüksek reverberasyon süresi açısından ulusal mevzuatta belirlenmiş sınır değerleri sağlarken, Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu sağlamamaktadır. Yapılan performans kriteri değerlendirmesi sonucunda ulusal mevzuata göre Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nun Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu'na göre daha iyi akustik koşullara sahip olduğu görülmüştür (Tablo 7).

Millî Kütüphane'de yerinde yapılan incelemelerde Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nda bireysel çalışma ünitelerinde yer alan kumaş gibi ses yutucu malzemelere daha çok rastlanmıştır. Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nda uygulanmış olan asma tavan malzemesinin perfore malzeme seçildiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak okuma salonunun fiziksel olarak camlı bölme elemanlarıyla bölünerek Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu'ndan ayrılmış olması da Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nun hacmini küçülterek okuma salonunun akustik özelliklerine katkıda bulunmuştur.

Çalışmada ulusal mevzuatımızın yanı sıra Millî Kütüphane okuma salonlarının mevcut akustik konfor koşullarının değerlendirilmesinde İngiltere Standartları BB 93 (2015) [21] ve BS 8233 (2014) [22] ile Almanya Standardı DIN 18041:2016'da [23] yer alan sınır değerler kullanılmıştır. Bu bağlamda BB 93 (2015)'e göre [21] standartta belirlenmiş reverberasyon süresi sınır değerini, BS 8233 (2014)'e göre [22] standartta belirlenmiş iç ortam gürültü seviyesi sınır değerini ve DIN 18041:2016'ya göre [23] standartta belirlenmiş reverberasyon süresi sınır değerini Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu mevcut akustik koşulları sağlarken, Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu sağlamamaktadır.

Değerlendirmeler sonucunda uluslararası mevzuata göre Prof. Dr. Sabahattin Zaim Akademisyenler Salonu'nun Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu'na göre daha iyi akustik koşullara sahip olduğu görülmüştür (**Tablo 9, Tablo 14**). Dr. Müjgan Cunbur Okuma Salonu'nda ölçülen yüksek reverberasyon süresi ve arka plan gürültü düzeyi dikkate alındığında akustik bir müdahaleye gerek duyulduğu görülmektedir. Akustik konfor koşullarını iyileştirmek amacıyla yapılabilecek öneriler şunlardır:

- Salonun toplam yutuculuğunu artıracak ses yutuculuk katsayısı yüksek malzemelerle duvarlarda yüzeyler oluşturulabilir. Mekan içindeki yutuculuk düzeyinin artması gürültü azaltımını az da olsa sağlayacaktır. Ses yutuculuk katsayısı yüksek malzemelerle tavanda akustik panel ya da asma tavan uygulanması yapılabilir. Salonun toplam yutuculuğunu artırmak amacıyla pencerelerde ses yutucu perde kullanılabilir.
- Arka plan gürültüsünü azaltabilmek amacıyla salonlardaki tam olarak kapanmayan cephe elemanlarının ve okuma salonu kapısının kasa kanat birleşiminin ve eşiklerinin sızdırmazlığı gözden geçirilebilir, yapı elemanlarının ses geçiş kaybını azaltmaya yönelik olarak çift gövde kullanımı, yapı elemanındaki katmanlar arasındaki hava boşluğunun artırılması, oluşturulan hava boşluklarında gözenekli yalıtım malzemesi kullanılması ve ilgili elemanların bağlantılarının esnek olarak sağlanması ile mümkündür. Arka plan gürültüsünü azaltabilmek amacıyla kütüphane bahçesinde peyzaj düzenlemesi yapılarak ağaçlandırılabilir ve karayolu ile kütüphane arasına gürültü bariyeri uygulanabilir.

Literatürdeki çalışmalarda kütüphane kullanıcılarının çalışmaları sırasında maruz kaldığı gürültünün araştırma, aritmetik çalışmalar, okuma, düzyazı gibi konsantre olmayı gerektiren konularda kullanıcıların çalışma performansını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle tüm bina türlerinde olduğu gibi kütüphane binalarında da mimari tasarım aşamasında kütüphane akustik ortamına ilişkin kararların alınmış olması kullanıcıların konsantrasyonunun etkilenmemesi ve konforunun sağlanabilmesi açısından gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] Odabaş, H. ve M.A. Akkaya. (2020). Bilgi merkezlerinde mekan: Değişen beklentiler ve mimari anlayış ışığında yönelimler. (1. Baskı). İstanbul: Hiperyayın, 307.
- [2] Anonim. (2007). 60. Yılında Milli Kütüphane. (1. Baskı). Ankara: Plaka Matbaacılık A.Ş., 146.
- [3] Bradshaw, B., A.S. Proctor, R. Ladle ve M. Frost. (2024). The impact of ambient noise on patron stress levels while studying in the library. *The Journal of Academic Librarianship*, 50(5), 1-7.
- [4] Irawan, Y., R. Wahyuni, H. Khotimah, Herianto, B. Kurniawan, H.T. Saputra, . . . R. Rahmaddeni. (2022). Design of library noise detection tools based on voice pressure parameters. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 14(3), 237-244.
- [5] Damián-Chávez, M.M., P.E. Ledesma-Coronado, M. Drexel-Romo, D.I. Ibarra-Zárate ve L.M. Alonso-Valerdi. (2021). Environmental noise at library learning commons affects student performance and electrophysiological functioning. *Physiology & Behavior*, 241(1), 1-8.
- [6] Damián-Chávez, M.M., P.E. Ledesma-Coronado, M. Drexel-Romo, D.I. Ibarra-Zárate ve L.M. Alonso-Valerdi. (2021). How does environmental noise impact collaborative activities at the main library of Tecnológico de Monterrey? 43. *IEEE Engineering in Medicine & Biology Society Konferansında sunuldu*, Guadalajara.
- [7] Brothánek, M., V. Jandák ve O. Jiříček. (2020). Expectations of the acoustic environment in the National Library of Technology – case study. *Applied Acoustics*, 170(1), 1-6.
- [8] Kızıltepe, S. (2017). Kütüphane yapılarında akustik konfor ve bir örnek inceleme. In. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Lange, J., A. Miller-Nesbitt ve S. Severson. (2016). Reducing noise in the academic library: the effectiveness of installing noise meters. *Library Hi Tech*, 34(1), 45-63.
- [10] Rajagopalan, P., H.T.H. Nguyen ve A. Carre. (2016). Acoustic performance of contemporary public libraries: an evaluation of public libraries in Melbourne, Australia. *Architectural Science Review*, 60(2), 104-115.
- [11] Xiao, J.L. ve F. Aletta. (2016). A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of Birmingham. *Noise Mapping*, 3(1), 264-273.
- [12] Franks, J.E. ve D.C. Asher. (2014). Noise management in twenty-first century libraries: Case studies of four U.S. Academic Institutions. *New Review of Academic Librarianship*, 20(3), 320-331.
- [13] Yelinek, K. ve D. Bressler. (2013). The perfect storm: A review of the literature on increased noise levels in academic libraries. *College & Undergraduate Libraries*, 20(1), 40-51.
- [14] Gordon-Hickey, S. ve T. Lemley. (2012). Background noise acceptance and personality factors involved in library environment choices by college students. *Journal of Academic Librarianship*, 38(6), 365-369.
- [15] Ntui, N.I. (2009). Noise sources and levels at the University of Calabar Library, Calabar, Nigeria. *African Journal of Library, Archives and Information Science*, 19(1), 53-63.
- [16] McDiarmid, E.W. ve G.R. Tatum. (1938). Library noise. *The Library Quarterly: Information, Community, Policy*, 8(2), 200-209.
- [17] Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, (2017). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete,
- [18] Kütüphaneler ve Yayınlar Genel Müdürlüğü. (2024). Millî Kütüphane Rölöve Projesi.

- [19] Kang, J. ve Z. Du. (2003). Sound field and acoustic comfort in library reading rooms. 10. Uluslararası Ses ve Titreşim Kongresinde sunuldu, Stockholm.
- [20] Karakoç, B. (2024). Betül Karakoç kişisel arşivi.
- [21] BB 93, (2015). Acoustic Design of Schools: Performance Standards, Department for Education, 6-39.
- [22] BS 8233, (2014). Guidance on Sound Insulation and Noise Reduction for Buildings, The British Standards Institution England, 1-86.
- [23] Nocke, J. (2018). DIN 18041 - a German view. Euronoise 2018 Konferansında sunuldu, Crete.
- [24] Mehta, M., J.A. Johnson ve J. Rocafort. (1999). Architectural Acoustics: Principles and Design. (1. Baskı). New Jersey: Prentice Hall, 234.

MAĞAZALARIN AKUSTİK KONFORUNUN DEĞERLENDİRİLMESİNDE İSTANBUL'DA BİR MOBİLYA MAĞAZASI ÖRNEĞİ

Deniz Demir¹, Bilge Şan Özbilen², İ. Zeynep Savcı Özgüven³

¹⁻²İstanbul Kültür Üniversitesi, Bakırköy, İstanbul, Türkiye
e-posta: denizdemir0627@gmail.com, b.ozbilen@iku.edu.tr

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye
e-posta: zeynep.ozguven@ozguvenmimarlik.com

ÖZET

Günümüzde mağazalar, yalnızca ticari faaliyetlerin gerçekleştiği alanlar olarak değil, aynı zamanda bireylerin sosyal yaşamlarının bir uzantısı niteliğinde değerlendirilen mekânlar olarak önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda mağaza iç mekân tasarımlarının, kullanıcı konforunu en üst düzeyde sağlayacak biçimde, uygun çevresel parametreler temelinde kurgulanması gerekmektedir. Tasarım sürecinde dikkate alınması gereken iç ortam kalitesi ölçütleri; görsel konfor, akustik (işitsel) konfor, termal konfor, iç hava kalitesi, mekânsal konfor ve yangın güvenliği gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, mağaza kullanıcılarının konfor algısını doğrudan etkileyen temel akustik parametreler, güncel standartlar ve yürürlükteki yasal düzenlemeler çerçevesinde ele alınmıştır ve İstanbul'da yer alan bir perakende mobilya mağazasında gerçekleştirilmiş olan akustik ölçümler aracılığıyla söz konusu parametreler nesnel biçimde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akustik konfor, iç ortam kalitesi, mağazalar.

EVALUATION OF ACOUSTIC COMFORT IN RETAIL STORES: A CASE STUDY OF A FURNITURE STORE IN ISTANBUL

ABSTRACT

In contemporary contexts, stores are regarded not only as venues where commercial activities take place but also as spaces that constitute an extension of individuals' social lives. Accordingly, the design of retail interiors must be structured on the basis of appropriate environmental parameters to ensure the highest level of user comfort. The quality criteria of the indoor environment that should be taken into account during the design process include visual comfort, acoustic (auditory) comfort, thermal comfort, indoor air quality, spatial comfort, and fire safety. Within the scope of this study, the fundamental acoustic parameters directly influencing user comfort have been examined in line with current standards and applicable legal regulations, and these parameters have been objectively evaluated through acoustic measurements conducted in a retail furniture store located in Istanbul.

Keywords: Acoustic comfort, indoor environmental quality, stores.

1. GİRİŞ

Günümüzde perakende satış mağazaları, yalnızca alışverişin gerçekleştirildiği geleneksel mekânlar olmanın ötesine geçerek, kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen çok boyutlu mekânlar haline gelmiştir. Bu bağlamda, müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için mağaza atmosferinin doğru şekilde tasarlanması önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. İç ortam kalitesi (IOK) (Indoor Environmental Quality-IEQ), mekân atmosferini oluşturan temel bileşenlerden biri olup, kullanıcıların hem fiziksel hem de psikolojik gereksinimlerine yanıt vermeyi hedefleyen bir yaklaşım niteliğindedir ve mağaza iç mekânlarının düzenlenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Akustik konfor, termal konfor, görsel konfor, iç hava kalitesi ve mekânsal konfor parametreleri, iç ortam kalitesi kapsamında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmektedir. Mağazalarda bu parametrelerin bütünsel bir şekilde ele alınması, satış performansını güçlendirmenin yanı sıra müşteri memnuniyeti ve bağlılığına doğrudan katkı sunmaktadır. Literatürde ise, nitelikli biçimde tasarlanmış bir mağaza atmosferinin, kullanıcıların mekânda geçirdikleri süreyi uzattığı ve satın alma davranışlarını olumlu yönde etkilediği sıklıkla vurgulanmaktadır [1].

Akustik konfor, gürültü düzeylerinin kontrol altına alınması ve kullanıcıların mağaza ortamında rahat bir şekilde alışveriş yapabilmelerini sağlamak açısından önemli bir faktördür. Mağazalarda istenmeyen seslerin minimize edilmesi, kullanıcıların mekânda geçirdiği süreyi uzatmakta ve daha olumlu bir deneyim yaşamalarına katkıda bulunmaktadır. Özellikle geniş alanlı mağazalarda, ses emici malzemeler ve akustik düzenlemeler, bu amaca yönelik etkili çözümler sunmaktadır.

Bu bağlamda, geçmiş yıllarda mağaza tasarımı alanında yürütülen çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların ağırlıklı olarak marka kimliği, renk paleti kullanımı, aydınlatma ve havalandırma gibi bireysel unsurlar üzerine yoğunlaştığı ancak akustik çalışmaların yeterince ele alınmadığı görülmektedir. Söz konusu çalışmaların büyük çoğunluğu anket verileri üzerinden gerçekleştirilmiş olup, yerinde ölçümlerle desteklenen çalışmalar bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın başlıca amacı, perakende mağazalarında iç ortam kalitesinin müşteri deneyimi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir biçimde incelemektir. Çalışma çerçevesinde, Vivense mağazaları arasında mekânsal olarak en geniş satış alanına sahip ve aynı zamanda müşteri yoğunluğunun en yüksek olduğu İstanbul ili, Beylikdüzü ilçesindeki Vivense Beylikdüzü mağazası üzerinden akustik parametrelerinin ayrıntılı ölçümleri ve değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Literatürde mağazaların akustik performansını nesnel ölçümlerle ele alan çalışmalar bulunmadığından, elde edilen veriler perakende mağazalarının kullanıcı odaklı tasarım süreçlerine rehberlik edebilecek nitelik taşımaktadır [2].

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, kullanıcı konforunu etkileyen akustik parametreler detaylı biçimde ele alınmış ve İstanbul'da uluslararası bir perakende mobilya mağazası olan Vivense'de bu parametreler ölçümlerle değerlendirilerek objektif olarak analiz edilmiştir. Çalışma sürecinde, ilgili standartlar ve yürürlükteki yasal düzenlemeler dikkate alınmıştır.

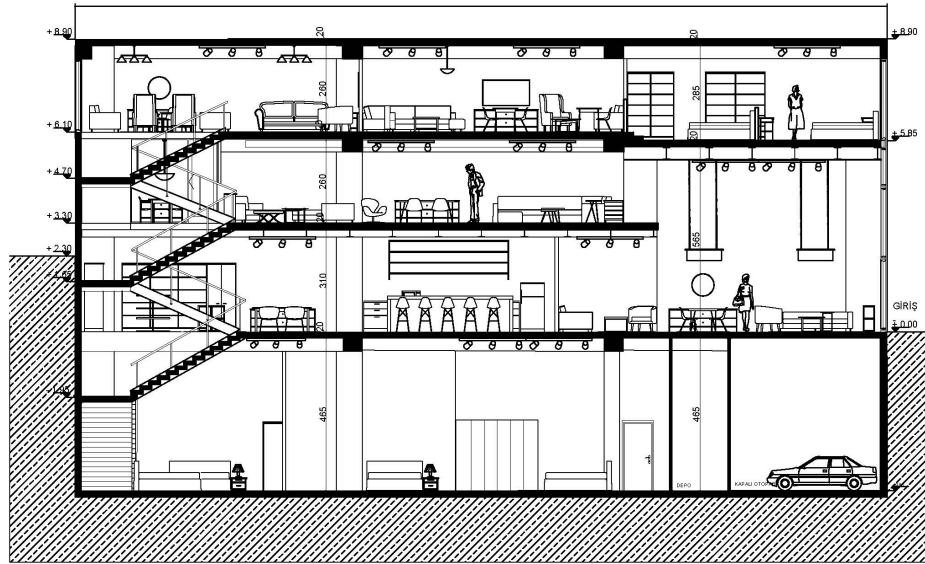
Vivense Beylikdüzü Mağazası, Vivense'nin fiziksel olarak açılan ilk mağazalarından biri olup E-5 karayolu üzerinde konumlanan cadde mağaza niteliğindedir. Cadde mağazası olması

nedeniyle alışveriş yapmak isteyen müşterilerin yoğun ilgisini çekmekte ve günlük müşteri sayısının yüksek olduğu bir mağaza olarak öne çıkmaktadır (Şekil 1,2).

Çalışmada akustik konfor verilerinin elde edilmesi amacıyla ölçüm cihazları kullanılmıştır. Mağazanın aylık müşteri sayısı incelendiğinde, hafta içi ziyaretçi yoğunluğunun düşük, hafta sonu ise yüksek olduğu görülmektedir. Müşteri yoğunluğuna bağlı olarak gürültü seviyelerinde farklılık bulunup bulunmadığını analiz edebilmek için ölçümler hafta içi ve hafta sonu ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 1. Vivense Beylikdüzü mağazasının İstanbul içerisindeki konumu ve dıştan görünüşü



Şekil 2. Vivense Beylikdüzü 1/50 mağaza uzunlamasına kesiti

2.1. Mevzuat

Ülkemizde, “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” 2017 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte akustik performansın değerlendirilmesi, binalar ve içlerindeki bağımsız bölümler için beş temel ölçüt üzerinden ele alınmaktadır. Bu ölçütler;

- Mekân içi arka plan gürültü düzeyleri,
- Tesisat veya servis sistemlerinden kaynaklanan gürültü düzeyleri,

- c. Dış ve iç yapı elemanlarının hava doğuşlu ses yalıtımı,
- d. Döşemelerin darbe sesi yalıtımı,
- e. Reverberasyon süresinin kontrolü gibi parametrelerdir.

Bu parametrelerin değerlendirilmesi sonucunda yapının akustik performans sınıfı belirlenebilmektedir. Akustik performans sınıfları A'dan F'ye kadar derecelendirilmekte olup, A sınıfı en iyi durumu ifade etmektedir. Yeni inşa edilen yapılarda tasarımların C sınıfı, mevcut binalarda ise D sınıfı kriterlerini karşılaması hedeflenmektedir[3].

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği", farklı bina ve mekân türlerinin kullanım amaçlarına göre gürültüye duyarlılık derecelerini ve kabul edilebilir gürültü seviyelerini tanımlamaktadır. Mekânın işlevine göre belirlenen bu değerler, ilgili yönetmelik kapsamında tablo halinde sunulmuştur. Bu tabloya göre ticari tesisler grubunda yer alan mağaza ve dükkânlar, yüksek düzeyde gürültü üretimi yapan mekânlar arasında değerlendirilmekte olup gürültüye karşı düşük hassasiyet gösteren bina ve kullanım kategorisinde yer almaktadır (YG-III).

a. Mekân içi gürültü düzeyleri

Binalarda akustik performans sınıfına göre belirlenen iç mekân gürültü seviyeleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir. Yönetmelik, elektronik olarak yükseltilmiş müzik yayını ya da canlı müzik yapılan ancak temel amacı müzik dinletisi olmayan restoran, bar, alışveriş merkezi, mağaza ve oyun salonu gibi mekânlarda, müzik sesi dâhil izin verilen en yüksek iç gürültü seviyelerini belirlemekte ve bu sınır değerlerini mekân türüne göre düzenlemektedir. Buna göre, ticari tesisler kapsamındaki mağazalarda gündüz 07.00 ile 23.00 saatleri arasında C sınıfı için gürültü düzeyi en fazla 49 dBA olmalıdır (Tablo 1) [3]. Vivense mağazası 10.00–19.00 saatleri arasında açık olduğundan ölçümler bu zaman aralığında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Akustik performans sınıfına bağlı izin verilen mekân içi en yüksek gürültü düzeyleri, dB [3]

BİNA İŞLEVİ	MEKÂN	ZAMAN DİLİMİ Gece: 23.00 – 07.00 Akşam: 19.00 – 23.00 Gündüz: 07.00–19.00	İç gürültü düzeyi, L_{Aeq}^3					
			AKUSTİK PERFORMANS SINIFI					
			A	B	C	D	E	F
Ticari Tesisler	Mağaza-Dükkan	Gündüz-Akşam	41	45	49	53	57	61
	Alışveriş Merkezleri	Gündüz-Akşam	46	50	54	58	62	66
	Süpermarketler	Gündüz-Akşam	46	50	54	58	62	66
	Postane- Genel Bankacılık	Gündüz-Akşam	41	45	49	53	57	61
	Sirkülasyon Alanları ⁴	24 saat	41	45	49	53	57	61

b. Tesisat veya servis sistemlerinden kaynaklanan gürültü düzeyleri

Sürekli gürültüye sahip olan servis ekipmanlarından kaynaklanan, izin verilen en yüksek iç gürültü düzeyleri yönetmelikte yer alan Tablo 1'deki değerlere göre her değer için 4 dB düşük olup; buna göre mağazalarda gündüz 07.00 ile 23.00 saatleri arasında C sınıfı için servis ekipmanlarından kaynaklı gürültü seviyesi en fazla 45 dBA olmalıdır [3]. Yukarıda belirtildiği gibi Vivense mağazası 10.00-19.00 saatlerinde açık olduğu için yapılan ölçümler bu zaman dilimini kapsamaktadır.

c. Dış ve iç yapı elemanlarının hava doğuşlu ses yalıtımı

Yönetmelikte belirtilen dış yapı elemanları için dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Mağazanın hassasiyet derecesi III olduğu için C sınıfına göre cephe elemanları L_{gag-28} değerini sağlamalıdır.

İç yapı elemanları açısından, yaygın bina türleri ve mekânlar için bitişik veya üst üste konumlanan hacimlerin komşuluk durumları tanımlanmış olup, ilgili sınır değerler Tablo 3’te verilmiştir. Mağazalar yüksek gürültülü mekânlar olarak sınıflandırılmaktadır ve bu çalışmada mağaza bitişğinde konut bulunmaktadır. Dolayısıyla tablodaki YG-I ilişkisine göre ara yapı elemanının karşılaması gereken yalıtım düzeyi C sınıfı için 60 dB’dir[3].

Tablo 2. Dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri ($D_{nT,A,tr}^{1,2}$), dB [3]

ALICI ODASI HASSASİYET	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI ^{3,4}					
	A	B	C	D	E	F
I	L_{gag-14}	L_{gag-18}	L_{gag-22}	L_{gag-26}	L_{gag-30}	L_{gag-34}
II	L_{gag-17}	L_{gag-21}	L_{gag-25}	L_{gag-29}	L_{gag-33}	L_{gag-37}
III	L_{gag-20}	L_{gag-24}	L_{gag-28}	L_{gag-32}	L_{gag-36}	L_{gag-40}

$$^1 D_{nT,a,tr} = D_{2mnT,w} + C_{tr}$$

² 10 uncu maddede belirtilen durumlarda $D_{2mnT,w,50} = D_{2mnT,w,w} + C_{tr,50-3150}$ değeri de kullanılabilir.

³ L_{gag} değerleri binanın 2m uzağında ölçülen, cephe yansımaları hariç düzeylerdir

⁴ A, B, C, D sınıflarında bu tablodaki değerlerin yanı sıra ses yalıtım değerinin 30 dB olması kriteri aranacaktır

Tablo 3. Kaynak ve alıcı odası özelliklerine göre sağlanacak en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri ($D_{nT,A}^{1,2}$), dB [3]

KAYNAK ODASI GÜRÜLTÜLÜLÜK DERECESİ	ALICI ODASI HASSASİYET	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI ^{3,4}					
		A	B	C	D	E	F
Yüksek Seviye Gürültü (YG) $L_{AF,max} > 75$ dBA	I	68	64	60	54	50	46
	II	65	61	55	51	47	43
	III	62	58	52	48	44	40

$$^1 D_{nT,a} = D_{nT,w} + C$$

² 10 uncu maddede belirtilen durumlarda $D_{nT,50} = D_{nT,w} + C_{50-3150}$ değeri de kullanılabilir. Bu durumda sınır değerler 4 dB düşürülecektir.

³ Kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 10 dB düşük olmasına izin verilir.

d. Döşemelerin darbe sesi yalıtımı

Yönetmelikte komşuluk ilişkilerine göre sağlanacak en yüksek darbe sesi düzeyleri tanımlanmıştır. Ancak mağazanın bodrum katının da altında bir bağımsız birim yer almadığı için bu parametre çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

e. Reverberasyon süresi

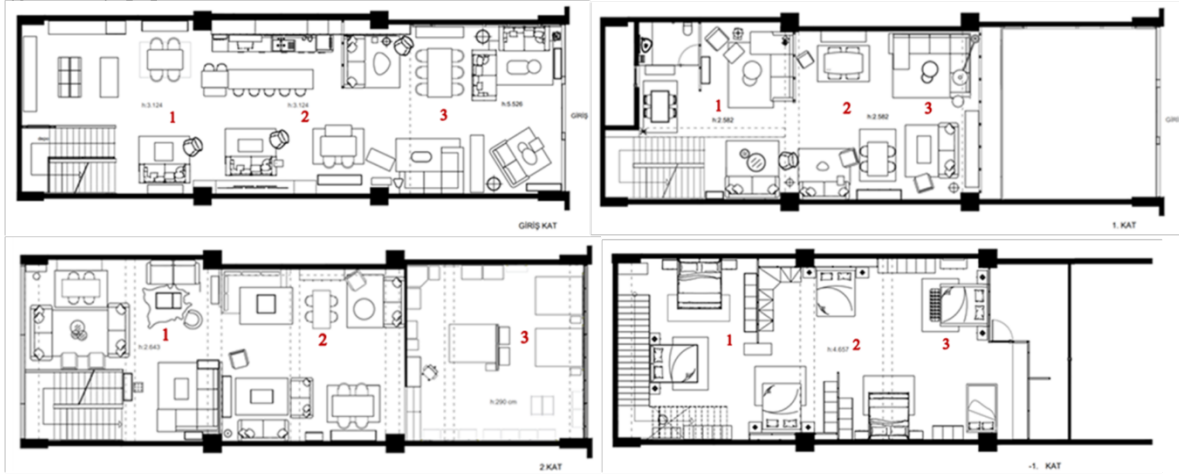
Reverberasyon süresi, ses kaynağının kesilmesinden sonra ses şiddetinin ulaştığı en yüksek düzeyin bir milyonda birine düşmesi ya da ses seviyesinin en yüksek değerinden 60 dB azalması için saniye cinsinden geçen süre olarak tanımlanmakta ve hacim akustiğinde dikkate alınan en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. Yönetmelikte reverberasyon süreleri

ile yüzey yutuculuklarına ilişkin sınır değerler ele alındığında mağaza içindeki reverberasyon süresi 1 saniyeyi sağlaması gerektiği belirtilmiştir [3].

2.2. Mağazanın akustik konforunun değerlendirilmesi

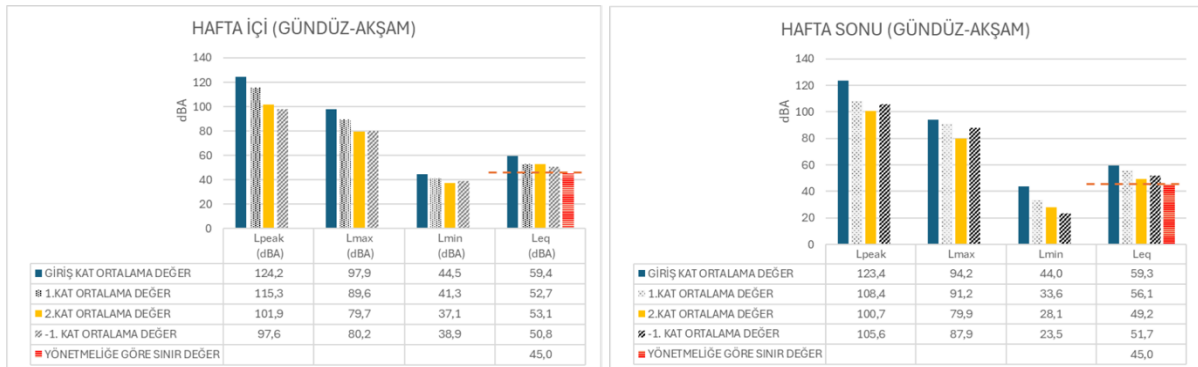
2.2.1. İç ortam gürültü düzeylerinin belirlenmesi

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik esaslarına göre gündüz 07.00-19.00 ve akşam 19.00-23.00 saat aralıklarında yapılması gerekmektedir. Ancak bu çalışmada, mağazanın faaliyet saatleri olan 10.00-19.00 arasında gün boyunca ve beşer dakikalık periyotlarla ölçümler gerçekleştirilmiştir. İç ortam gürültü düzeylerinin saptanabilmesi amacıyla SV 971A Class 1 Sound Level Meter model gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, “TS ISO 1996-2 Akustik-Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi-Bölüm 2: Çevre gürültü seviyelerinin tayini” standardına uygun biçimde, mağazanın her katında üç ayrı noktada, yerden 1.5 metre yükseklikte gerçekleştirilmiştir (Şekil 3) [4].

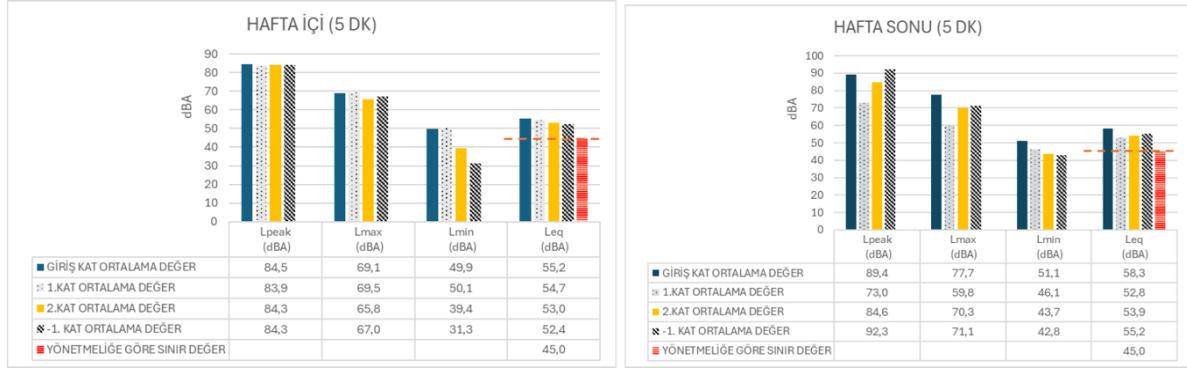


Şekil 3. Mağazada belirlenen ölçüm noktaları

Ölçüm bulgularının grafiksel ve tablo karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir (Şekil 4,5).



Şekil 4. Hafta içi – İç ortam gürültü düzeyi grafiği (Gündüz-Akşam)

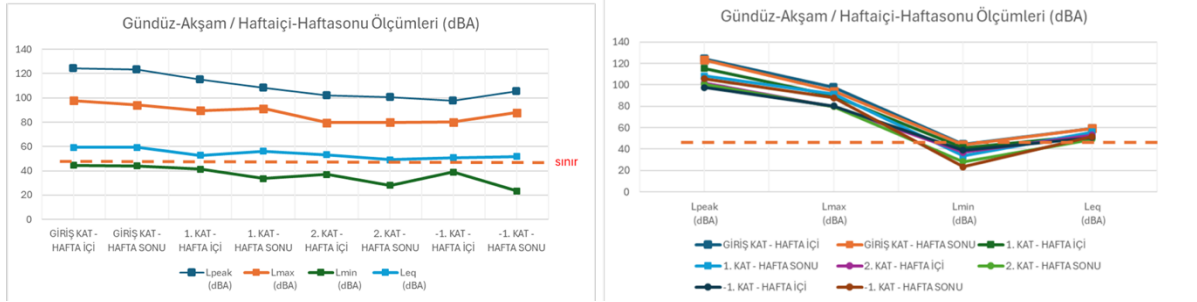


Şekil 5. Hafta içi ve hafta sonu – İç ortam gürültü düzeyi grafiği (5 Dakika)

Tablo 4. Haftasonu ve Haftaiçi İç ortam gürültü düzeylerinin belirlenmesi (Gündüz-Akşam)

Ölçüm Alanları	Haftasonu				Haftaiçi			
	Lpeak (dBA)	Lmax (dBA)	Lmin (dBA)	Leq (dBA)	Lpeak (dBA)	Lmax (dBA)	Lmin (dBA)	Leq (dBA)
Giriş kat								
1. Ölçüm Yeri	113,8	86,5	49	60,8	127,3	102,4	51,4	62,6
Giriş kat								
2. Ölçüm Yeri	126,2	96,2	47,1	59,2	120,5	93,9	40,9	57,5
Giriş kat								
3. Ölçüm Yeri	130,1	99,8	35,8	58	124,8	97,3	41,1	58
Giriş Kat Ort.	123,4	94,2	44,0	59,3	124,2	97,9	44,5	59,4
1. kat 1. Ölçüm Yeri	94,8	74,7	42,3	51,4	114,7	87,4	32,8	52,5
1. kat 2. Ölçüm Yeri	111,7	92,1	27,2	55,3	105,4	83,1	46,4	53,4
1. kat 3. Ölçüm Yeri	118,6	106,8	31,4	61,5	125,8	98,4	44,8	52,3
1. Kat Ort.	108,4	91,2	33,6	56,1	115,3	89,6	41,3	52,7
2. kat 1. Ölçüm Yeri	101,7	77,1	30,1	48	104,3	77,5	26,7	50,9
2. kat 2. Ölçüm Yeri	104,2	80,6	28,4	54,5	100,2	79,5	47,6	56,3
2. kat 3. Ölçüm Yeri	96,1	81,9	25,9	45,1	101,2	82,1	36,9	52,1
2. Kat Ort.	100,7	79,9	28,1	49,2	101,9	79,7	37,1	53,1
-1. kat 1. Ölçüm Yeri	108,2	89,7	27,1	50,6	106,2	86,7	37,1	50,4
-1. kat 2. Ölçüm Yeri	101,2	84,4	21,6	51,9	89,2	74	38,9	48,6
-1. kat 3. Ölçüm Yeri	107,5	89,5	21,7	52,5	97,5	79,8	40,6	53,3
-1. Kat Ort.	105,6	87,9	23,5	51,7	97,6	80,2	38,9	50,8
YÖNETMELİĞE GÖRE SINIR DEĞER				45,0				45,0

Şekil 4 ve 5'ten elde edilen verilere göre yapılan karşılaştırma grafikleri aşağıda Şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. Akustik ölçüm karşılaştırma grafiği

Vivense mağazalarında çalışma süresince aralıksız müzik yayını yapılmakta ve aynı zamanda tüm gün boyunca iklimlendirme sistemleri çalışır durumda bulunmaktadır. Bu uygulama, müşteri memnuniyetini artırmayı hedefleyen firmanın genel mağazacılık stratejisinin bir parçasıdır. Dolayısıyla ölçümlerin tamamı sırasında mekân içerisinde hem müzik yayını hem de sürekli çalışan klima mevcut olmuştur.

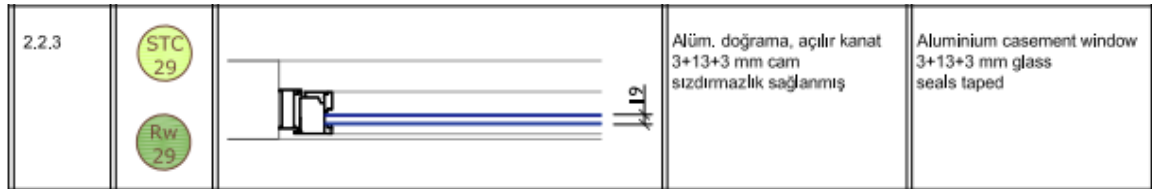
2.2.2 Dış ve iç yapı elemanlarının hava doğuşlu ses yalıtımı

Dış yapı elemanları için dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri mağazanın hassasiyet derecesi III olduğu için C sınıfına göre cephe elemanları L_{gag-28} değerini sağlamalıdır. Öncelikle çevresel gürültü düzeyleri TS ISO 1996-2'ye göre 5 dakikalık ölçümlerle cepheden 2 metre mesafede aşağıdaki şekilde ölçülmüştür (Tablo 5) [4].

Tablo 5. Dış gürültü düzeyinin belirlenmesi

Ölçüm Alanları	Lpeak	Lmax	Lmin	Leq
Dış cephe	95.1 dBA	87.2 dBA	67.3 dBA	71.2 dBA

Bu doğrultuda $Leq/L_{gag}/L_{den}$ değeri 71.2 dBA olarak hesaplanmıştır ve $L_{gag-28}=71.2-28=43.2$ olmaktadır. Cephede alüminyum profillerle cam yapı elemanı kullanılmış olup 43.2 dB yalıtım değerinin sağlanması gerekmektedir. Mağazada ise Şekil 7'de kesiti verilen doğrama sistemi kullanılmış olup bu doğramanın ses yalıtım değeri 29 dB olması nedeniyle istenen sınır değerinin altında kalmaktadır. Ancak gün içerisinde mağaza giriş kapısı sürekli açılıp kapanmaktadır. Mağaza cephesindeki doğrama tipi 43.2 dB'in üzerinde olacak şekilde seçilse bile kapı açık olduğundan çevresel gürültünün kontrol edilmesini sağlamayacaktır.



Şekil 7. Mağaza cephesinde kullanılan doğrama tipinin ses yalıtım değeri [5]

İç mekân yapı elemanları için ses yalıtım değerleri komşuluk durumuna bağlı olarak mekânların gürültülük düzeyleri ile bitişik mekânın duyarlılık derecesine göre belirlenmektedir. Mağaza yüksek gürültüye sahip olduğu ve bitişiginde bağımsız birim bulunduğu için YG-I ilişkisine göre ara yapı elemanının sağlaması gereken yalıtım değeri C

sınıfına göre 58 dB olması gerekmektedir. Mevcut koşullarda mağaza ile konut arasında Şekil 8’de verilen kesit uygulanmıştır. 61 dB> 58 dB olduğu için ilgili kesit ses yalıtım kriterini karşılamaktadır.

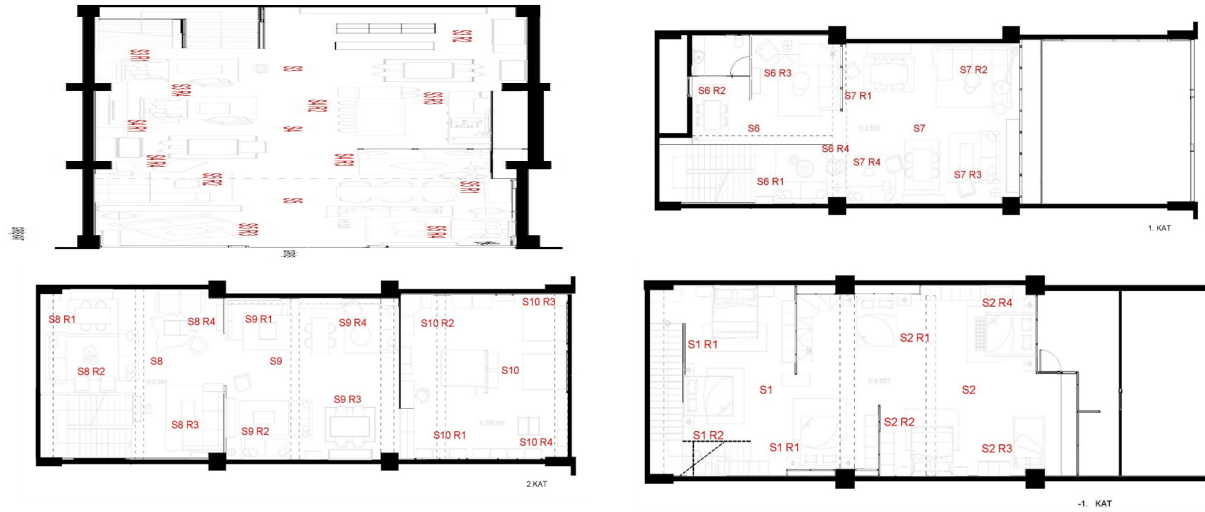
	Katman No 1: Kaba Sıva – 2 cm - Katman No:2 Gazbeton Blok 15 cm G4 Sınıfı 600 kg/m³ Katman No:3 Hava Boşluğu+ DU-DC 50/75 Profili Katman No:4 Taşyünü Levha - 5 cm – 50 kg/m³ Katman No:5 Alçı Levha- 2,5 cm/çift tabaka-640 kg/m³	$D_{nt,A}$ dB değeri: 61 dB
--	--	---

Şekil 8. Mağaza duvarı kesitinin ses yalıtım değeri [6]

2.2.3. Reverberasyon süresinin belirlenmesi

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’e göre mağaza içerisinde reverberasyon süresi 1 saniyeyi sağlamalıdır [3]. Buna yönelik “TS EN ISO 3382-2 Akustik - Odaların Akustik Parametrelerinin Ölçülmesi - Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama süresi” standardına göre Mea Akustik firması desteğiyle RION Sound Level Meter (NL-52), NTEK OMNI 5” dodecahedron ses kaynağı ve power applifier ile CAIII Sound Calibration cihazlarıyla ölçüm yapılmıştır [7]. Ölçümlerde hoparlör yerden 1,5m yükseklikte konumlandırılmıştır ve en az 3 ölçüm noktası duvar yüzeylerinden en az 1m mesafede olacak şekilde belirlenmiştir. Ses kaynağı olan hoparlör Source-S, alıcı noktaları Receiver-R ile ifade edilmektedir. Buna göre ölçüm yapılan alanlar aşağıda Şekil 9’da yer alan plan üzerinde belirtilmiş olup, S1 R1-S10 R4 ile belirtilen noktalar ölçüm yapılan kaynağın ve alıcı noktalarının yerini belirtmektedir. Ölçüm sonuçları aşağıdaki Şekil 10’da verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre reverberasyon süresi ortalama olarak; -1. katta 0,9 saniye, giriş katta 0,8 saniye, 1. kat ve 2. katta 0,5 saniyedir. En yüksek değer, giriş katta S5 kaynağının yer aldığı cam cephenin olduğu alanda 0,99 saniye çıkmıştır. En düşük değer, 2. katta S10 alanında ev tekstili ürünlerinin yer aldığı alanda 0,4 saniye bulunmuştur

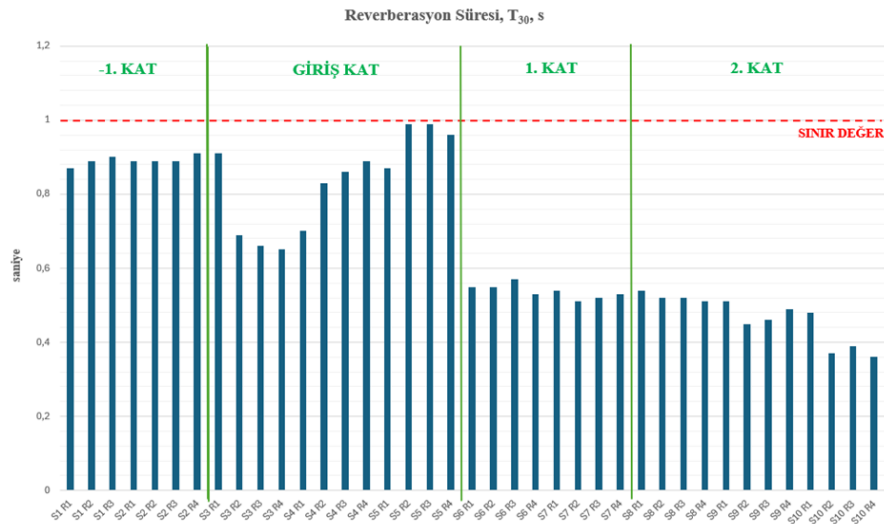
Katlarda ölçülen ortalama reverberasyon süresi değerleri incelendiğinde yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin aşılmadığı görülmektedir. Mekân genelinde asma tavan bulunmamasına ve tavan ile duvarların yansıtıcı yüzeylere sahip olmasına rağmen, ses yutucu özellik taşıyan ürünler ve mobilyaların varlığı bu durumda etkili olabilmektedir. Ölçüm değerlerinin katlar ve ölçüm noktaları arasında karşılaştırılması sonucunda 1. ve 2. katlarda kat yüksekliği 2,60 metre olup 0,5 saniye reverberasyon süresi değeri elde edilmiştir. -1. katta kat yüksekliği 4,65 metre ve giriş katta kat yüksekliği 5,65 metre olarak ölçülmüş ve reverberasyon süresi 0,9 saniye bulunmuştur. Bu alanlarda kat yüksekliğinin fazla olmasına bağlı olarak iç yüzeylerde yansıtıcı alan artmaktadır. Bu bölgelere ses yutucu özellikte asma tavan uygulanması, reverberasyon süresini kısmen azaltmada etkili olacağı için önerilmektedir.



Şekil 9. Mağaza içerisinde reverberasyon süresi ölçüm yerleri

3. SONUÇ

Bu çalışmada iç ortam kalitesi parametrelerinden “Akustik konfor”, İstanbul’da bir mağazada iç ortam gürültü seviyeleri, ses yalıtımı ve reverberasyon süresi ana başlıkları altında değerlendirilmiştir. İç ortam gürültü değerleri belirli noktalarda istenen seviyenin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun mağazada sürekli müzik yayını yapılması ve klimaların çalışmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Reverberasyon süresi, mağazanın genelinde istenen seviyelerde sağlanmaktadır. Sadece giriş bölümünde 125 Hz frekansta 1 saniyenin üzerinde, 1,24 saniye değer olarak ölçülmüştür.



Şekil 10. Ölçüm noktalarında elde edilen reverberasyon süresi değerleri

Bu alan, yüksek tavan ve çoğunluğu yansıtıcı yüzeylerden kaynaklı olarak değerlerin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu parametreler, mekânda ses yutucu elemanların artırılmasıyla optimize edilebilir. Teşhir amaçlı sergilenen mobilyalar ses yutucu özellik taşısa da ses yutucu nitelikte bir asma tavan uygulaması bu parametrelerin sağlanmasında etkili olabilir. Ses yalıtımı açısından, mağaza ile bitişik bağımsız birim arasında yeterli izolasyon sağlandığı gözlemlenmiştir. Dış yapı elemanları incelendiğinde, mağaza cephesindeki doğramaların istenen değeri karşılamadığı görülmektedir ancak bu sağlansa dahi giriş

kapısının sürekli açılıp kapanması nedeniyle istenen etki elde edilemeyecektir. Yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine göre, konfor parametrelerinin çoğunlukla hedeflenen seviyelerde olduğunu göstermektedir. Sağlanamayan değerler, koşulların fark edilmesi ve yapılacak iyileştirmelerle referans seviyelere ulaşabilir. Çalışmanın devamı niteliğinde, ileriki araştırmalarda müşteriler ve mağaza çalışanlarına anket uygulanarak subjektif veriler elde edilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yapraklı, Tevfik Şükrü ve Orhan, Meryem, 2020. "Mağaza Atmosferinin Satın Alma Davranışına Etkisi: Hazır Giyim ve Gıda Perakendeciliği Üzerine Karşılaştırmalı Bir Uygulama." *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol. 1, 2020, pp. 81–104, <https://doi.org/10.47358/sentez.2020.5>
- [2] Demir, D. (2025). *Perakende Satış Mağazalarının İç Ortam Kalitesinin Değerlendirilmesine Yönelik Örnek Bir Çalışma*. (Y.L. Tezi). İKÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2017, Mayıs 31). *Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik*. *Resmî Gazete*, 30082. <https://mesleki hizmetler.csb.gov.tr/binalarin-gurultuye-karsi-korunmasi-uygulamasi>
- [4] TS ISO 1996-2 Akustik-Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi- Bölüm 2: Çevre gürültü seviyelerinin tayini
- [5] Şentop, A. (2013). *Binaların Gürültü Kontrolü Etkin Tasarımı İçin Yapı Elemanı Seçim Aracı*. (Y.L. Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Şan Özbilen B., 2021, Ses Yalıtım ve Maliyet Performansına Bağlı Duvar Tipi Seçimi İçin Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [7] TS EN ISO 3382-2 Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama süresi

DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜNE MARUZ ÜNİVERSİTE DERSLİĞİNDE AKUSTİK ORTAMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Sercan Kesten¹, Muhammed Yusuf Kahveci², Elif Nisa Yıldırım³, Murat Aytar⁴

¹⁻²⁻³⁻⁴Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye
e-posta: sercankesten@gtu.edu.tr

ÖZET

Demiryolu kaynaklı gürültü ve titreşim, ulaşım koridorlarına yakın eğitim yapılarında iç mekân akustiğini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışma, Marmaray hattına 75 m mesafedeki bir üniversite dersliğinde tren işletiminin akustik kalite ve öğrenme ortamı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Amfi düzenindeki betonarme derslikte çınlama süresi (RT-60) mobil uygulama ile hesaplanmış, sonuçlar ISO 3382-2 ve ANSI/ASA S12.60 standartlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca hem iç hem dış mekânda dB(A) cinsinden gürültü ölçümleri yapılmış, banliyö ve yüksek hızlı tren geçişleri sırasında oluşan gürültü düzeyleri kaydedilerek öğrencilerin etkilenme süresi belirlenmiştir. Gürültü düzeyleri Türkiye Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kriterleriyle karşılaştırılmıştır. Bulgular, demiryolu trafiğinin derslik akustiği ve öğrenci performansı üzerindeki etkilerini göstermekte ve demiryolu yakınındaki eğitim yapıları için akustik iyileştirme stratejilerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu gürültüsü, gürültü değerlendirmesi, derslik akustiği, çınlama analizi, akustik konfor.

ASSESSMENT OF ACOUSTIC ENVIRONMENT IN A UNIVERSITY CLASSROOM EXPOSED TO RAILWAY NOISE

ABSTRACT

Railway-induced noise and vibration can adversely affect indoor acoustic conditions in educational buildings near transport corridors. This study examines the impact of railway operations on acoustic quality and learning conditions in a university classroom located 75 m from the Marmaray line. Reverberation time (RT-60) was analyzed using mobile software and evaluated per ISO 3382-2 and ANSI/ASA S12.60 standards. Indoor and outdoor noise levels in dB(A) were measured during commuter and high-speed train passages to assess student exposure. Results were compared with Turkish Environmental Noise Control and WHO guidelines. Findings show that railway traffic influences classroom acoustics and student performance, emphasizing the need for acoustic improvements in schools near railways.

Keywords: *Railway noise, Noise exposure assessment, Classroom acoustics, Reverberation analysis, Acoustic comfort*

1. GİRİŞ

Akustik, sesin oluşumu, yayılımı ve mekânlarla etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Akustik çalışmaları yalnızca müzik ve ses mühendisliğiyle sınırlı olmayıp, mimarlık, şehir planlama, ulaştırma ve çevre mühendisliği gibi pek çok alanda uygulama bulmaktadır. Ses dalgalarının fiziksel özellikleri (frekans, genlik, dalga boyu) ile mekânın geometrisi ve malzeme özellikleri arasındaki ilişki, akustik biliminin temelini oluşturur. Literatürde akustiğin, özellikle yapı akustiği ve çevresel akustik alanlarında yoğun şekilde çalışıldığı görülmektedir. Akustiğin yalnızca işitsel konfor açısından değil, aynı zamanda mekânların fonksiyonel etkinliği için de kritik olduğu vurgulanmaktadır [1]. Benzer şekilde **Long** [2], mimari akustiğin mekânsal tasarımdaki rolünü açıklayarak, akustik düzenlemelerin enerji dağılımı, çınlama ve soğurma süreçleri üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çevresel akustik çalışmalarında gürültü kontrolünün kentleşme ve ulaşım planlamasında giderek daha önemli hale geldiği ifade edilmiştir [3]. Bu bağlamda akustik bilimi hem mühendislik hem de günlük yaşam açısından, çevresel gürültü kontrolünden bina tasarımına, ulaşım sistemlerinden eğitim mekânlarına kadar geniş bir yelpazede kritik bir rol üstlenmektedir. Eğitim yapılarında iç mekân akustik kalitesi, öğrenme verimliliği ve öğrencilerin dikkat süreleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Dersliklerde yüksek arka plan gürültüsü ve uzun çınlama süreleri, konuşma anlaşılabilirliğini ciddi şekilde azaltarak öğrencilerin öğrenme performansını olumsuz etkilemektedir [4]. Özellikle demiryolu gibi ulaşım koridorlarına yakın konumlanmış dersliklerde, dış kaynaklı gürültü maruziyeti ve mekânsal akustik özellikler dersliklerin konfor koşullarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, Gebze Teknik Üniversitesi Merkezi Amfi dersliklerinden demiryoluna en yakın konumlandırılan derslikte gerçekleştirilen bu çalışma hem dersliğin akustik performansını hem de dış ortam kaynaklı gürültü etkilerini kapsamlı şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Akustik konforun değerlendirilmesinde en temel yöntemlerden biri çınlama (reverberation) analizidir. Çınlama, ses kaynağı kesildikten sonra enerjinin mekân içinde sönümlenme süresini ifade etmekte olup bu çalışmada RT-60 parametresi üzerinden ölçülmüştür. RT-60, dersliklerde konuşma anlaşılabilirliğini doğrudan belirleyen kritik göstergelerden biridir. Yüksek RT-60 değerleri, sesin sınıf içinde dağılmasına ve öğrencilerin dersi anlamakta güçlük yaşamasına neden olurken; düşük RT-60 değerleri konuşma netliğini artırmaktadır [5]. Bununla birlikte RT-60 yalnızca hacimsel büyüklüklerden değil, mekânın geometrisi, yüzey malzemelerinin soğurma ve yansıtma özellikleri ile mobilya düzeninden de etkilenmektedir. 2010 yılında yapılan bir çalışmada [6], ilkökul çocuklarında sınıf akustiğinin performans ve psikolojik etkileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada özellikle uzun çınlama sürelerinin (RT-60) öğrencilerin sözel hafıza, okuduğunu anlama ve dikkat toplama becerilerini olumsuz etkilediği bulunmuştur. Ayrıca kötü akustik koşulların öğrencilerde yorgunluk ve stres düzeylerini artırdığı, buna karşılık uygun akustik düzenlemelerin öğrenme performansını belirgin şekilde iyileştirdiği rapor edilmiştir [6]. Bu nedenle çınlama analizleri, mevcut akustik koşulların nesnel olarak değerlendirilmesi ve iyileştirmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından vazgeçilmezdir. Derslik akustiğini olumsuz etkileyen bir diğer unsur ise dış gürültü kaynaklarıdır. Trafik, tren ve uçak gibi dış gürültü kaynakları, kapalı hacimlerde akustik kalitenin düşmesinde en önemli faktörler arasında sayılmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılın başlarında yaşamını yitiren ünlü Alman hekim Robert Koch'un yaklaşık bir buçuk asır önce dile getirdiği *"Bir gün veba gibi gürültüyle savaşmak zorunda kalacağız"* ifadesi, gürültünün önemli bir toplumsal sağlık sorunu olduğuna erken bir işaret niteliği taşımaktadır [7]. Bu nedenle okul binalarında tasarım aşamasında çevresel gürültü dikkate alınmalıdır [8]. Mevcut sınıfların çoğunda akustik koşullar standartların altında kalmaktadır. Bu bulgular, sınıf akustiği ile eğitim kalitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir [9]. Gürültünün derslik içine doğrudan sızması, öğrencilerin dikkatini

dağıtarak ders verimliliğini azaltmakta ve öğretmen-öğrenci iletişimini zayıflatmaktadır. Ayrıca yüksek düzeydeki sınıf içi gürültü, yalnızca öğrenme güçlüklerine değil, aynı zamanda stres, yorgunluk ve fizyolojik tepkilere de yol açabilmektedir [10]. Benzer şekilde, demiryolu gürültüsünün ani ve yüksek seviyeli doğası, sınıf ortamında konuşma anlaşılabilirliğini azaltarak öğrenme sürecini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, derslik akustiğinin ölçüm ve iyileştirilmesinin öğrenci-öğretici etkileşimini doğrudan desteklediği gösterilmiştir [11]. Shield ve Dockrell [12], okul ortamındaki gürültünün öğrenciler üzerindeki çok boyutlu etkilerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Çalışmada, arka plan gürültüsünün öğrencilerin konuşma anlaşılabilirliğini azalttığı, okuduğunu anlama becerilerini zayıflatığı vurgulanmaktadır. Bulgular, sürekli yüksek gürültüye maruz kalan çocuklarda dikkat dağınıklığı, davranış sorunları ve motivasyon kaybı gibi olumsuz sonuçların da görülebildiğini göstermektedir. Bu nedenlerle okul binalarında gürültü kontrolü ve uygun akustik tasarımın eğitim kalitesinin sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışma, Marmaray hattına yakın bir derslikte gerçekleştirilen RT-60 ve gürültü ölçümleri üzerinden, dışsal gürültü ile iç mekân akustiğinin etkilerini ortaya koymayı ve eğitim ortamlarının akustik performansına dair bilimsel bir değerlendirme sunmayı hedeflemektedir.

2. ÖLÇÜMLER

2.1. Akustik ölçüm

Derslik akustiğinin değerlendirilmesi amacıyla RT-60 çınlama süresi ölçümleri, BuzzSpace RT-60 adlı uygulama kullanılarak balon patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).

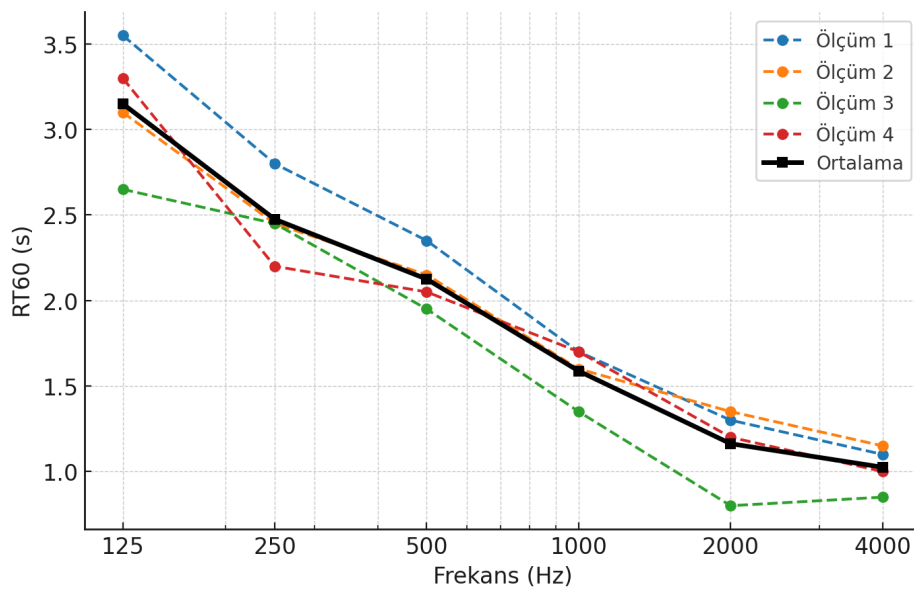


Şekil 1. RT-60 Reverberasyon süresi ölçümü **Şekil 2.** RT-60 Reverberasyon süresi ölçümü-2

Ölçümlerde balon ile ölçüm cihazı arasındaki mesafe 1,5 m olacak şekilde ayarlanmıştır. İncelenen amfi boyutları 17,60 m uzunluk, 12,11 m genişlik olarak ölçülüp 213,14m² alana sahiptir. Tavan eğimli olup yüksekliği sınıfın ön kısmında (maksimum) 6,82 m, arka kısmında (minimum) 2,83 m, orta kısmında 5,00 m ve ortalama tavan yüksekliği 4,88 m olarak belirlenmiştir. Bu farklı yükseklik değerleri dikkate alınarak, dersliğin hem ön (kursu alanı) hem de arka kısımlarında toplam dört ayrı ölçüm yapılmıştır.

Tablo 1. Derslik akustiğinin ölçüm çıktıları

Ölçüm	Konum	Analiz Edilen Yükseklik (m)	Boyutlar (L × W) (m)	Hacim (m ³)	RT-60 (s)
1. Ölçüm	Ön (Kürsü)	6,82	17,60 × 12,11	1453,59	1,67
2. Ölçüm	Ön (Kürsü)	4,88 (ortalama)	17,60 × 12,11	1040,10	1,83
3. Ölçüm	Arka (Son)	4,88 (ortalama)	17,60 × 12,11	1040,10	1,86
4. Ölçüm	Arka (Son)	2,83	17,60 × 12,11	603,17	1,94

**Şekil 3.** RT-60 değeri ölçüm çıktıları

Aynı derslikte gerçekleştirilen dört farklı RT-60 ölçümü, hem sınıfın ön ve arka bölümlerinde hem de değişen tavan yüksekliklerinde akustik performansın farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Kürsü önünde, en yüksek tavan yüksekliği (6,82 m) esas alındığında RT-60 değeri 1,67 s olarak elde edilmiş, aynı noktada ortalama yükseklik (4,88 m) dikkate alındığında değer 1,83 s'ye yükselmiştir. Arka bölümde ise ortalama yükseklik için 1,86 s, minimum yükseklik (2,83 m) için 1,94 s ölçülmüştür (Şekil 3). Çınlama süresi ve frekans değerleri değişimi Şekil 3'deki grafikte gözükmemektedir. Bu sonuçlar, sınıfın ön kısmında çınlama sürelerinin daha düşük olduğunu, arka kısımda ise daha yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. Ayrıca tavan yüksekliği arttıkça hacmin genişlemesine bağlı olarak RT-60 değerlerinin kısmen azaldığı, ancak hangi koşulda ölçülürse ölçülsün tüm değerlerin ANSI/ASA S12.60 standardında derslikler için önerilen 1,0 s sınırının üzerinde olduğu görülmüştür. Frekans dağılımları incelendiğinde, düşük frekans bantlarında (125–250 Hz) çınlama sürelerinin 3 s'nin üzerinde olduğu, yüksek frekanslarda (2000–4000 Hz) ise 1,0 s seviyelerine yaklaştığı belirlenmiştir. Bu durum, özellikle düşük frekanslarda aşırı çınlamanın öğretici-öğrenci iletişimini olumsuz etkileyebileceğini ve arka sıralarda konuşma anlaşılabilirliğini daha da zorlaştırabileceğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, elde edilen bulgular derslikte akustik iyileştirme önlemlerine ihtiyaç olduğunu açıkça göstermektedir.

2.2. Gürültü düzeyi ölçümü

Dersliğin dışsal gürültüye maruziyetini belirlemek amacıyla Extech marka ses ölçüm cihazı ile hem iç mekânda hem de dış mekânda ölçümler gerçekleştirilmiştir. İç mekân ölçümleri sınıfın ortasında yapılırken, dış mekân ölçümleri Marmaray hattına bakan cephede, duvardan 1 m ileride kaydedilmiştir (bakınız Şekil 4 Şekil Şekil 5). Marmaray demiryolu ile derslik arasındaki mesafe 75 m'dir. Ölçüm binaya 1 metre mesafede demiryoluna 74 metre mesafede gerçekleştirilmiştir. Ölçümler tren geçişleri sırasında saniyelik olarak kaydedilmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

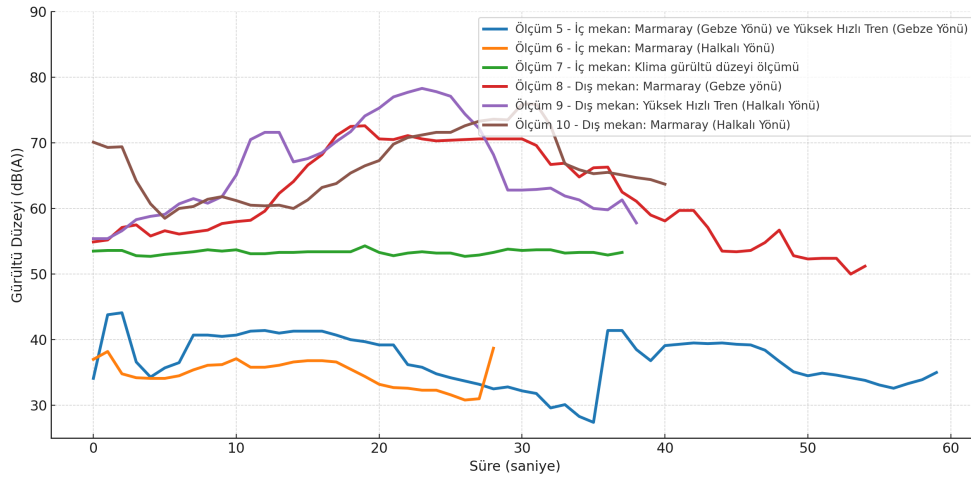


Şekil 4. İç mekân ölçümleri dB(A)



Şekil 5. Dış mekân ölçümleri dB(A)

Ölçümlerde kullanılan cihaz A-weighting filtresi dB(A) ile çalışmakta olup, bu ölçek insan kulağının frekanslara karşı farklı duyarlılıklarını hesaba katarak ölçüm yapmaktadır. Böylece elde edilen değerler, insan işitme algısına en yakın sonuçları vermekte ve ulusal/uluslararası standartlarla doğrudan kıyaslanabilir hale gelmektedir.



Şekil 6. İç Mekân- Dış Mekân dB(A) Ölçüm Verileri Grafiği

Extech ses ölçüm cihazı ile elde edilen veriler işlenerek, oluşturulan grafikler, ölçüm sonuçlarının zaman içerisindeki değişimini Şekil 'da ortaya koymaktadır. Yapılan iç mekân ölçümleri, Marmaray ve YHT geçişleri sırasında derslik içindeki gürültü düzeylerinin genel olarak 30–45 dB(A) aralığında seyrettiğini, ancak özellikle motorlu araçlar ve YHT geçişleriyle birlikte kısa süreli artışların gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Dış mekân ölçümleri ise tren ve motor geçişlerinin 70–80 dB(A) seviyelerine ulaştığını göstermiştir. YHT geçişleri sırasında kaydedilen yaklaşık 78–80 dB(A) düzeyindeki pik değerler kısa süreli ancak yüksek şiddette olup, özellikle pencerelerin açık olduğu durumlarda iç mekâna yansırarak dikkat dağınıklığına yol açabilmektedir. Dış ortam sesinin bu denli yüksek olduğu bir durumda havalandırma için pencere kullanımı yerine klimaların kullanılması öngörülmüştür. Klima cihazları çalışırken ise dış ortamdan herhangi bir gürültü etkisi olmaksızın ses düzeyinin 53 dB(A) seviyesinde sabitlendiği görülmüştür.

Bu değerler, Türkiye Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen sınırlarla karşılaştırıldığında dikkat çekicidir. Yönetmelikte eğitim alanları için gündüz döneminde dış ortamda izin verilen en yüksek sürekli gürültü düzeyinin 55 dB(A) olduğu belirtilmektedir [13]. Dolayısıyla, Marmaray tren geçişleri sırasında ölçülen ortalama dış mekân değerleri bu sınırın belirgin şekilde üzerinde seyretmektedir. Ayrıca, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) okul ortamlarında iç mekân gürültü düzeyinin 35–40 dB(A) seviyesini aşmaması gerektiğini önermektedir [14]. Bu bağlamda, ölçülen iç mekân ses düzeyinin WHO'nun önerdiği sınırların üzerinde olması, öğrencilerin dikkat ve algı süreçlerini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

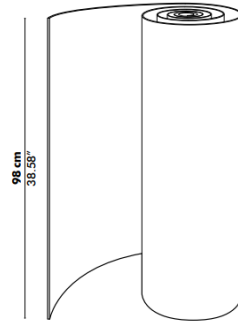
2.3. Akustik iyileştirmeler

Sınıf ortamlarında akustik konfor, öğrenme verimliliğini ve iletişim kalitesini doğrudan etkileyen temel bir faktördür. Özellikle yüksek çınlama süreleri, konuşma anlaşılabilirliğini düşürmekte, öğrencilerin dikkatini olumsuz yönde etkilemekte ve öğretim etkinliğini sınırlamaktadır. Bu bağlamda, gürültü kontrolü ve sesin mekân içerisindeki davranışının düzenlenmesi, derslik tasarımının kritik bir bileşeni haline gelmiştir. Bir yüzeye çarpan ses dalgalarının belirli bir kısmı yansırarak ortamda tekrar yayılmakta, bu yansımalar sonucunda sesin “çamurlaşması” olarak ifade edilen durum ortaya çıkmakta ve konuşmaların anlaşılabilirliği ile algılama bilirliliği olumsuz etkilenmektedir. Gürültülerin kontrol altına

alınabilmesi için, sesin ortama geri yansımadan önce absorbe edilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu noktada, akustik kumaş kaplamalar gibi ses yutucu malzemeler, etkin bir çözüm sunmaktadır [15].

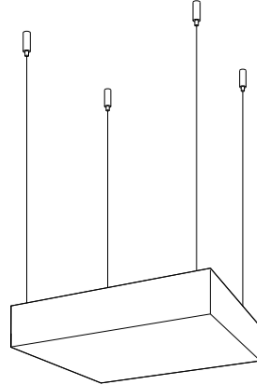
Yapılan ilk ölçümlerde sınıfta 1.67–1.94 s aralığında çınlama (reverberasyon) süreleri elde edilmesi, mekânın akustik açıdan yetersiz olduğunu ve derslikler için önerilen 1.0 s hedef değerinden belirgin biçimde uzak olduğunu göstermektedir. Bu sebeple hem yankıyı azaltacak hem de farklı frekanslarda dengeli ses soğurumu sağlayacak akustik iyileştirmeler gerekli görülmüştür.

BuzziSpace uygulamasının arayüzünde, ölçümlerden sonra akustik iyileştirme için sunduğu, kendi ürünleri olan seçenekler arasından, sınıfın akustik düzenlemesi için seçilen kombinasyon; tavanda 100 adet BuzziBlox SQ-12'nin askı sistemi (ceiling pendant) ile montajı, yan ve ön duvarlarda yine 100 adet SQ-12'nin duvar sabitlemesiyle kullanımı ve arka duvarda 34 m² BuzziSkin (Şekil Şekil) kaplamadan oluşmaktadır. BuzziBlox SQ-12 paneller 59,5 × 59,5 cm boyutlarında ve 12 cm derinliğe sahiptir; iç kısmı %80 geri dönüştürülmüş pamuk liflerinden üretilmiş akustik dolgu, dış yüzeyi ise Reflect kumaş (Category A) ile kaplıdır. Reflect kumaş %100 geri dönüştürülmüş polyesterden üretilmiş ve ASTM E84 Class A yangın dayanımıyla hem dayanıklı hem güvenli bir seçenektir. BuzziSkin 10 m × 0,98 m boyutlarında rulolar halinde, 6 mm kalınlığında ve %100 geri dönüştürülmüş PET keçe malzemeden üretilmektedir. NRC değeri düşük olmasına rağmen ($\approx 0,20$), özellikle 2000–4000 Hz aralığında yüksek soğurum katsayısına sahiptir ($\alpha \approx 0,51–0,66$).



Şekil 7. BuzziSkin akustik kaplama boyutu

Askı sistemi (ceiling pendant) tercih edilmesinin sebebi paneller ile tavan arasında oluşan hava boşluğunun özellikle orta ve düşük frekanslarda ses yutma kapasitesini artırmasıdır. Üretici verilerinde duvarda sabitlenen SQ-12 panellerin 125 Hz'de 0,11 m² sabın değerine sahipken, askılı montajda bu değerin 0,15 m²'ye yükseldiği görülmektedir. Bu teknik avantajın yanı sıra askılı sistem, tavadaki aydınlatma ve tesisat elemanları arasında esnek yerleşime olanak tanır; kablo boylarının (200 veya 500 cm) ve renklerinin (siyah veya gümüş) seçilebilmesiyle estetik bütünlük sağlar. Ancak sınıfın arka kısmına doğru gidildikçe tavan yüksekliği azalmaktadır. Dersliğin en arka bölümünde tavan yüksekliği 2,83 m'dir. Bu bölgede askı sistemi tavan yüksekliğini azaltacağı için tercih edilmemiştir (bakınız Şekil 7). Dolayısıyla, dersliğin arka duvar yüzeyine BuzziSkin kaplaması kullanılmıştır.



Şekil 8. BuzziBlox panelleri için tavan askı sistemi (ceiling pendant)

Yan ve ön duvarlardaki paneller, erken yansımaları kontrol ederek konuşma anlaşılabilirliğini artırırken, arka duvardaki BuzziSkin (Şekil 8) geniş bir yüzey kaplamasıyla yüksek frekanslarda ek emilim sağlayıp flutter echo (çınlama benzeri kısa yankı) etkisini azaltmaktadır. Ayrıca hem tavan hem de duvarlarda seçilen Reflect kumaş (Category A) dayanıklı ve Class A yangın dayanımıyla güvenli olup, aynı kumaşın kullanılması derslikte görsel bütünlük yaratmıştır.



Şekil 9. Duvar yüzeyine monte edilmiş SQ-12 akustik panel uygulama örneği

Sınıf içerisinde yapılan dört farklı akustik ölçümde çınlama (reverberasyon) süresinin 1,67–1,94 s aralığında olduğu, yani önerilen 1,0 s değerinin oldukça üzerinde kaldığı görülmüştür. Tavan yüzeyine 100 adet, yan ve ön duvarlara 100 adet SQ-12 BuzziBlox paneli askı sistemi (ceiling pendant) sistemiyle uygulanması ve arka duvarda 34 m²'lik alanda BuzziSkin kullanılmasıyla gerçekleştirilen senaryoda ise değerler sırasıyla 0,95 s, 0,79 s, 0,79 s ve 0,32 s olarak ölçülmüş, böylece akustik performansta belirgin bir iyileşme sağlanmıştır.



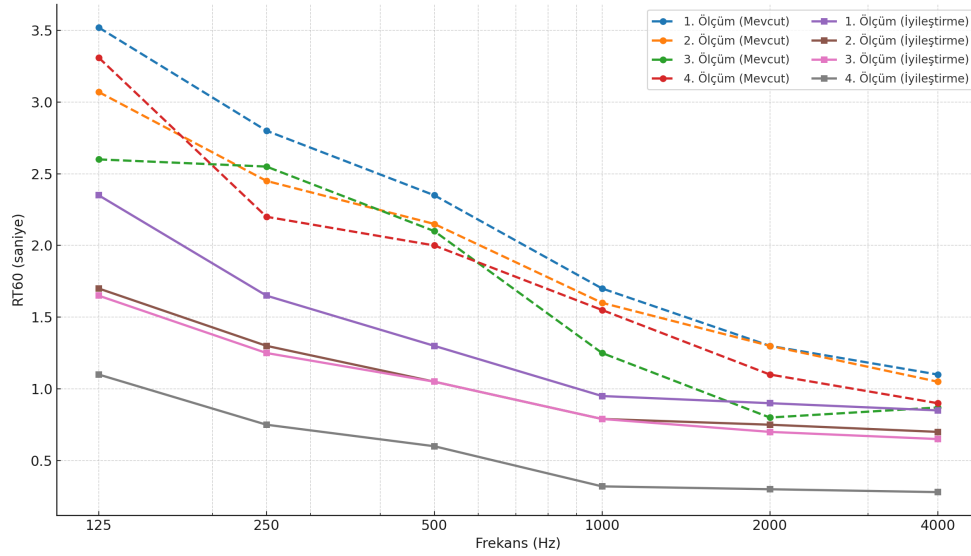
Şekil 10. Dersliğin arka duvarında uygulanan akustik iyileştirme senaryosu görseli

Özellikle tavana askılı sistemle yerleştirilen panellerin hacim içerisinde etkin bir şekilde ses yutumu oluşturması ve arka duvardaki BuzzSkin kaplamasının yüksek frekanslarda ek emilim sağlaması sayesinde (bakınız **Şekil 10**) hem düşük hem yüksek frekans bölgelerinde çınlama ciddi oranda azalmıştır. Bu sonuç, sınıfın akustik konforunun standartlara uygun hale geldiğini, konuşma anlaşılabilirliğinin ve öğrenme ortamının kalitesinin arttığını göstermektedir.

Tablo 2. Akustik iyileştirme sonuçları

Ölçüm	Konum	Girilen Yükseklik (m)	Ölçülen Yükseklik (m)	RT-60 (s) Mevcut Durum	RT-60 (s) İyileştirilmiş
1. Ölçüm	Ön (Kürsü)	6,82	6,82	1,67	0,95
2. Ölçüm	Ön (Kürsü)	4,88 (ortalama)	6,82	1,83	0,79
3. Ölçüm	Arka (Son)	4,88 (ortalama)	2,83	1,86	0,79
4. Ölçüm	Arka (Son)	2,83	2,83	1,94	0,32

Yapılan akustik düzenlemeler, derslik için uluslararası standartlarda öngörülen akustik gerekliliklerin karşılanmasını sağlamıştır. TS EN 12354-6 (binalarda akustik performansın tahmini – oda akustiği), ISO 3382-2 (oda akustik parametrelerinin ölçümü – sıradan odalarda RT60) ve DIN 18041 (eğitim ve konuşma amaçlı mekânlar için akustik tasarım rehberi) gibi standartlarda, derslikler için çınlama süresinin 0,6–1,0 s aralığında olması gerektiği belirtilmektedir [16]. Mevcut durumda ölçülen değerlerin bu sınırların oldukça üzerinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda, uygulanan tavan ve duvar yalıtım kombinasyonu ile elde edilen seviyeler, standartların önerdiği değerlerle uyumlu hale gelmiştir. Ayrıca DIN 18041 standardı, yalnızca ortalama çınlama süresini değil, frekans spektrumunun dengeli bir şekilde kontrol altına alınmasını da önermektedir.



Şekil 11. İyileştirme Sonrası Çınlama Süreleri

Bu bağlamda, askı sistemi ile monte edilen paneller düşük frekanslarda ek yutuculuk kazandırırken, arka duvarda kullanılan kaplamalar yüksek frekanslarda emilim sağlayarak frekanslar arasında dengeli bir dağılım yaratmıştır. Panellerin tavana, ön duvara ve yan duvarlara yerleşimi erken yansımaların kontrol altına alınmasına, arka duvardaki geniş yüzey kaplaması ise flutter echo (çınlama benzeri kısa yankı) etkisinin önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Böylece, ISO 9921 ve ANSI S12.60 standartlarında özellikle vurgulanan “konuşma anlaşılabilirliğinin (speech intelligibility) korunması” hedefi [17], yapılan düzenleme ile karşılanmıştır. Sınıfta yapılan son ölçümlerde şekil 11’de görüldüğü gibi elde edilen değerler, hem TS 9111 hem de DIN 18041’de derslikler için öngörülen sınır değerleri karşılamaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Marmaray hattına yakın konumlanan bir üniversite dersliğinin akustik performansı hem iç hem de dış gürültü etkileri dikkate alınarak kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Ölçümler sonucunda derslikte RT60 değerlerinin 1,67–1,94 s aralığında olduğu belirlenmiş ve bu değerlerin DIN 18041, ISO 3382-2 ve ANSI/ASA S12.60 standartlarında derslikler için önerilen 0,6–1,0 s aralığının oldukça üzerinde kaldığı görülmüştür. Yüksek çınlama süreleri, özellikle kalabalık dersliklerde konuşma anlaşılabilirliğini düşürmekte, öğrencilerin dikkatini dağıtmakta ve öğrenme performansını olumsuz etkilemektedir.

Derslikte gerçekleştirilen dış mekân ve iç mekân gürültü ölçümleri, Marmaray trenleri ve motorlu taşıtların oluşturduğu yüksek ses seviyelerinin sınıf içine önemli ölçüde yansıdığını ortaya koymuştur. Özellikle tren geçişleri sırasında dış mekânda gözlenen ani yükselişlerin iç mekânda da paralel artışlara neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üç klimanın eşzamanlı çalıştırılmasıyla gürültü düzeyi 55–57 dB(A) seviyelerine yükselmiş ve bu değer, WHO ile ANSI/ASA S12.60 tarafından derslikler için önerilen 35–40 dB(A) sınırlarını aşarak öğretim ortamında konuşma anlaşılabilirliğini olumsuz etkileme potansiyeli taşımıştır. Bu durum, sınıfta pencere açılmadığında klima zorunluluğunun, pencere açıldığında ise demiryolu gürültüsünün

devreye girmesi nedeniyle öğrencilerin sürekli olarak yüksek arka plan gürültüsüne maruz kaldığını göstermektedir.

Sorunları gidermek amacıyla yapılan akustik iyileştirme kapsamında, tavana, ön ve yan duvarlara BuzziBlox SQ-12 paneller askı sistemiyle yerleştirilmiş, arka duvarda ise BuzziSkin yüzey kaplaması kullanılmıştır. Askılı panellerin tavan ile arasında yarattığı hava boşluğu sayesinde özellikle 125–500 Hz frekans bandında ek yutuculuk sağlanmış; ön ve yan duvar panelleri erken yansımaları kontrol altına almış; arka duvarda kullanılan kaplama ise flutter echoyu azaltarak yüksek frekanslarda konuşma netliğini artırmıştır.

Uygulama sonrasında yapılan ölçümler, RT60 değerlerinde ortalama %61 oranında azalma sağlandığını göstermektedir. Ortalama çınlama süresi 1,83 s'den 0,71 s'ye düşmüş; frekans spektrumu genelinde dengeli bir iyileşme elde edilmiştir. Böylece yalnızca ortalama RT60 değerleri değil, aynı zamanda DIN 18041'in vurguladığı frekans dengesi kriteri de karşılanmıştır. Uygulanan panellerin A Sınıfı ses emici performansı ($\alpha_w \approx 1,00$, $NRC \approx 1,00$) ve ASTM E84 Class A yangın dayanımı, çözümün akustik gerekliliklerin yanı sıra güvenlik ve sürdürülebilirlik koşullarını da sağladığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen akustik müdahaleler yalnızca çınlama sürelerini düşürmekle kalmamış, aynı zamanda sınıf içinde konuşma anlaşılabilirliğini artırmış, dış gürültünün etkilerini azaltmış ve ulusal ile uluslararası standartların öngördüğü akustik konfor koşullarını karşılamıştır. Bu çalışma, demiryolu gibi yoğun gürültü kaynaklarının bulunduğu alanlarda yer alan eğitim yapıları için uygulanabilir, güvenli ve uzun vadeli bir çözüm önermekte; öğrenme ortamının kalitesini artırmak için etkili bir model sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Kuttruff, H. (2016). Room acoustics. Crc Press.
- [2] Long, M. (2005). Architectural acoustics. Elsevier.
- [3] Fahy, F. J. (2007). Sound and structural vibration: radiation, transmission and response. Elsevier.
- [4] Mogas Recalde, J., Palau, R., & Márquez, M. (2021). How classroom acoustics influence students and teachers: A systematic literature review. *Journal of Technology and Science Education*, 11(2), 245.
- [5] Tuncal, J. K. (2021). Ses yalıtımı yapılmış bir okulda ortamın akustik kalitesinin değerlendirilmesi: Bir durum çalışması (Yüksek Lissans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi (Türkiye)).
- [6] Klatte, M., Hellbrück, J., Seidel, J., & Leistner, P. (2010). Effects of classroom acoustics on performance and well-being in elementary school children: A field study. *Environment and Behavior*, 42(5), 659-692.
- [7] Daloğlu, C. (2019). Özel dersliklerin akustik performans sınıfları ve akustik proje tanımları kapsamında değerlendirilmesi: İzmir B.B. Müzik Sanat Atölyeleri örneği (Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü).
- [8] Cankuvvet Aykut, N., & Çınar, M. (2018). Eğitimde gözden kaçabilen bir nokta: Sınıf akustiği. İçinde S. Dinçer (Ed.), *Değişen dünyada eğitim* (ss. 323-336). Ankara: Pegem Akademi.
- [9] Naeemae, R. (2022). Classroom acoustics: Evaluation of acoustic conditions and their impact on learning [Master's thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- [10] Klatte, M., Meis, M., Sukowski, H., & Schick, A. (2007). Effects of irrelevant speech and traffic noise on speech perception and cognitive performance in elementary school children. *Noise and Health*, 9(36), 64-74.
- [11] Farid, D., Debache Benzagouta, S., & Remram, Y. (2021). Experimental study for acoustic correction of a school classroom using the alfa panel. *International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering"(IJTPE)*, 48-53.
- [12] Shield, B. M., & Dockrell, J. E. (2003). The effects of noise on children at school: A review. *Building acoustics*, 10(2), 97-116.
- [13] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği. Resmî Gazete, 30.11.2022, Sayı: 32029.
- [14] World Health Organization. (1999). Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization.
- [15] Öz, H. M., & Köse, E. (2020). Gürültü Önleyici Akustik Malzemelerin Performans Düzeylerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(18), 1-10.
- [16] Nocke, C. (2016). The new standard DIN 18041 – acoustic quality in rooms.
- [17] Muehleisen, R. T. (2008). A description of the acoustic requirements in LEED for Schools and a comparison to the ANSI S12.60 Classroom Acoustics Standard. *Noise Control Engineering Journal*, 56(5), 365.

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ LİF ESASLI AKUSTİK PANELİN PERFORMANSININ HAM PET KEÇEYE (12 MM PLATE) KARŞILAŞTIRILMASI: POROZİTE VE LİF YAPISININ AKUSTİK DAVRANIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Aslı Kılınç¹, Tuba Keseci Erkurt², İrem Cemre Koç³

¹⁻²⁻³Feltouch Yapı Tasarım S. T. A.Ş., Üsküdar, İstanbul, Türkiye
e-posta: asli.kilinc@feltouch.tr, tuba.keseci@feltouch.tr, irem.koc@feltouch.tr

ÖZET

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PET keçe atıklarından bağlayıcı kullanılmadan üretilen Zerobrick (Zerofelt) paneli ile aynı hammaddenin işlenmemiş formu olan 12 mm Plate panelinin 63–4000 Hz aralığındaki ses yutma performansları karşılaştırılmıştır. Ölçümler ISO 354 (yankı odası) ve ISO 10534-2 (empedans tüpü) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş, malzemelerin lif yapısı, porozitesi ve kalınlığı nicel ve görsel yöntemlerle analiz edilmiştir. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş liflerin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de fonksiyonel verimlilik açısından daha yüksek akustik performans sağladığını göstermektedir. Lif morfolojisi ve mikro-geometrinin ses yutumu üzerinde belirleyici olduğu, geri dönüşüm sürecinin bu özellikleri olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ses yutma katsayısı, PET keçe, porozite, ileri dönüşüm, lif yapısı.

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF A RECYCLED FIBER-BASED ACOUSTIC PANEL WITH RAW PET FELT (12 MM PLATE): EFFECTS OF POROSITY AND FIBER STRUCTURE ON ACOUSTIC BEHAVIOR

ABSTRACT

This study compares the acoustic performance of Zero Brick, made from recycled PET felt waste without binder, with the unprocessed 12 mm Plate panel across the 63–4000 Hz frequency range. Sound absorption coefficients were measured per ISO 354 (reverberation chamber) and ISO 10534-2 (impedance tube). Fiber structure, porosity, and thickness were quantitatively and visually examined. Results show that recycled fibers offer not only environmental benefits but also superior acoustic efficiency. Fiber morphology and micro-geometry are key parameters, and recycling enhances these characteristics favorably.

Keywords: Sound absorption coefficient, PET felt, porosity, recycling, fiber structure.

1. GİRİŞ

Mimari akustik bazen 'kara bir sanat' veya daha hoşgörülü bir şekilde 'gizli bir bilim' olarak tanımlanmıştır. Tamamen bir sanat olmasa da en iyi hâlinde hem estetik hem de işlevsel yapılar ortaya çıkarır.[1] Bu yapıların ortaya çıkmasında emici, yansıtıcı ve saçıcı malzemeler belli kurallar çerçevesinde ahenk oluşturacak şekilde kullanılmalıdır.

Sanayi Devrimi'nden bu yana hızla artan endüstrileşme, ulaşım ve iletişim kentleşmeyi de artırmıştır. Kent nüfusunun artmasıyla paralel ilerleyen konut ve yapı ihtiyacı bina ve inşaat teknolojilerindeki gelişmelere de hız kazandırmış ve konfor beklentisini de beraberinde getirmiştir. Şehirler yoğunlaştıkça etkin gürültü kontrolü bir ihtiyaç haline gelmiş, akustik düzenleme ve iç mekânda duyma kalitesini iyileştiren ürünlerin tasarımı ve geliştirilmesi yönünde gittikçe büyüyen bir pazar oluşmuştur. Bu ürünler arasında PET Keçe paneller üretim kolaylığı, esneklik ve maliyet avantajı ile öne çıkmaktadır. 2023 yılında 1,2 milyar ABD doları olarak ölçülen PET keçe akustik panel pazar büyüklüğünün 2030'lu yıllarda 2,8 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir. [2]

Endüstri devrimi yalnızca kentleşmeyi artırmamış, kentleşmeyle beraber ortaya çıkan çevresel problemleri de artırmıştır. İnsan faaliyetleri ve bunların çevre ile ilişkisi ilk olarak 1972 Stockholm Konferansı'nda ele alınmıştır. 1972'den bu yana insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki maliyetinin tespiti ve azaltımı yönünde birçok çalışma yapılmış ve onar yıllık hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda ulusal ve küresel ölçekte düzenlenen AB Yeşil Mutabakatı, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (BEP-TR), LEED (USA), BREEAM (UK) gibi talep içeren politikaların artışı sürdürülebilir yapı sektöründe de piyasa temelli bir dönüşümü tetiklemiştir. Bu dönüşüm, geri dönüştürülmüş ya da biyo içeriğe sahip yapı malzemelerine olan ilgiyi büyük ölçüde artırmıştır.

Geri dönüştürülmüş içeriğe sahip akustik yapı malzemeleri bakımından PET Keçe en az %50 oranında geri dönüştürülmüş içerikle yüksek dayanıklılık sağlaması, estetik çözümler sunması, yüksek akustik performans ortaya koyması ve maliyet avantajıyla alanında referans niteliğinde bir konuma sahiptir. [3]

PET keçe; gri dönüştürülmüş (r-PET) veya birincil liflerin ve/veya bunların çeşitli oranlarda karıştırılmasının ardından mekanik iğneleme (needlepunch) yöntemiyle işlenerek elde edilen bir dokunmamış (nonwoven) yüzeydir. İğneleme yöntemi sayesinde lifler, aralarında hava boşluğu olacak şekilde biçimlenir ve ortaya çıkan bu gözenekli yapının üzerine gelen ses dalgaları malzemenin içerisindeki hava moleküllerini titreştirerek hava ve malzeme yüzeyleri arasında sürtünmeye neden olur. Bu sürtünme ses enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek emilimin gerçekleşmesini sağlar.

Çalışma kapsamında karşılaştırması yapılacak olan akustik panellerden biri olan Zerofelt, PET keçe panellerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan firelerin termomekanik yöntemlerle bir araya getirilmesiyle elde edilmektedir. Hem PET keçe hem de PET keçenin ileri dönüşümüyle elde edilen Zerofelt ürününde sürtünmenin gerçekleşebileceği kadar hava geçirgenliği bulunmaktadır.

Aynı kalınlıkta ancak farklı yoğunluklara ve hücre yapılarına sahip plate ve zerofelt ürünleri akustik sönümlenme özellikleri bağlamında kıyaslanacaktır. Bu kıyaslama ürünlerin mikroskopik görüntüleri ve ISO 354 çerçevesinde yapılacaktır. Çalışma, üretim kaynaklı

firelerin hammadde olarak yeniden kullanılmasıyla akustik konfor amaçlı tercih edilen geleneksel ses yutucu malzemelere çevre dostu bir alternatif sunarak döngüsel çözümlerin geliştirilmesini ileriye taşımayı amaçlamaktadır.

1.1. Ses yutucu malzemelerin hacimdeki önemi

Bir odadaki ses dalgası bir sınır yüzeyine çarptığında, enerjisinin bir kısmı tekrar odaya yansır. Bu yansımadan doğan oda akustiği problemleri eko ve oda rezonanslarının oluşumudur [4]. Bu problemleri çözmek için ses emici ve rezonans sönümleyici malzemeler kullanılmaktadır.

Sabine'in çalışmaları [5] hacim içerisindeki toplam ses emiliminin, yansıma süresini belirleyen en önemli faktör olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre, uygun miktarda ve doğru yerleştirilmiş emici malzeme, akustik konforu sağlamak için kritik bir gerekliliktir.

Bu malzemelerin kullanılması konuşma anlaşılabilirliğini iyileştirmekte ve gürültü azaltımına katkı sağlamaktadır. Hacmin çınlama süresi ihtiyacına göre belirlenen miktarda kullanılarak optimum akustik konfor koşulları elde edilmektedir.

Özellikle eğitim mekânları, ofisler, konser salonları ve ibadethanelerde yapılan çalışmalar [6] [7] emici malzemelerin konuşma anlaşılabilirliği (STI – Speech Transmission Index) üzerinde doğrudan iyileştirici etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Düşük frekanslarda uygun emici çözümler (örneğin bass trap'ler), duran dalgaların kontrol edilmesi açısından da hacim akustiği için kritik öneme sahiptir.

1.2. PET keçe üretimi ve üretim firelerinin ileri dönüşümü

r-PET akustik panellerin içeriğinin %50'sini tüketim sonrası atık haline gelen PET şişelerden elde edilen lifler oluşturmaktadır. İçerikteki geri dönüştürülmüş lif oranı istenen mekanik dayanıma bağlı olarak artırılıp azaltılabilmektedir.

1.2.1. r-PET keçe üretimi

Geri dönüştürülmüş lifler birincil liflerle karıştırıldıktan sonra taranarak çapraz biçimde üst üste serilir ve bir kimyasal bağlayıcı ya da ısıtılma işlemi tabi tutulmadan bir iğne tabakası içinden geçirilir. Mekanik iğneleme adı verilen bu işlem sırasında lifler birbirine mekanik olarak kenetlenir ve gözenekli bir yüzey oluşturmaya başlar.

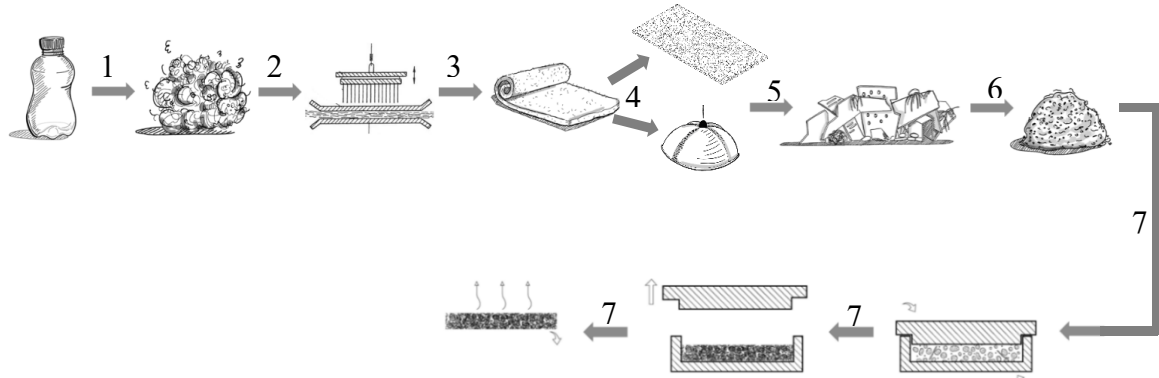
Nonwoven (iğneleme yöntemiyle üretilen) kumaşların istenen nihai kullanım özellikleri (hava geçirgenlik, sızdırmazlık, sıvı emme kapasitesi, ses yutum performansı vb.) doğrudan ya da dolaylı olarak lifler arasındaki gözenekli yapıyla ilişkilidir. Nonwoven kumaşlarda gözenekler, serme biçimlerinin de etkisiyle bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlıdır ve boyutları; kullanılan lifler, birim alan başına düşen malzeme kütlesi, iğneleme sıklığı gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterir [8]. Ses dalgaları nonwoven kumaş gözeneklerinde hava ile karşılaştığı zaman ortaya çıkan sürtünme kuvveti sebebiyle enerji ısıya dönüşür. Nonwoven kumaşlarda üretim yöntemine bağlı olarak farklı boyutlarda gözenekler kumaş boyunca heterojen bir şekilde dağılır. Gözenek boyutları ne kadar çeşitli ve malzeme boyunca yayılmış halde olursa malzeme o kadar geniş frekans aralığında ses yutum performansı gösterebilir.

Çalışmada kullanılan nonwoven kumaş PET keçe, işlenmemiş ve çift bileşenli lif karışımından oluşan 2500 g/m²'lik 14 mm kalınlığında (TS EN 9073-2) bir tabakadır. Bu tabakaya boyut ve biçim kararlılığı oluşturmak ve mekanik dayanımı artırmak amacıyla ısıtıl işlem uygulanarak kalınlığı 12 mm'de sabitlenir ve daha sert fakat esnek bir tabaka elde edilir. Bu yeni tabaka "plate" olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem nonwoven kumaşın CNC gibi yöntemlerle işlenebilmesine ya da 3 boyutlu şekil alabilmesine olanak sağlar.

14 mm'lik nonwoven kumaşın plate ve formlu ürüne, Plate ürününün de akustik duvar-tavan paneli-aydınlatmaya dönüşmesi için işlendiği sırada ortaya kenar kesimleri, fazlalıklar, yanlış kesim vb. gibi fireler çıkmaktadır. Bu firelerin döngüsel ekonomi yaklaşımıyla hammadde olarak yeniden işlenmesiyle ortaya Zerofelt isimli yeni bir akustik ürün grubu çıkmaktadır. Üretim süreçlerinde kaçınılmaz olarak ortaya çıkan atıkların değer kazanmasıyla kaynak ve enerji israfının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

1.2.2. Zerofelt ileri dönüşüm süreci

Nonwoven tabakaların ve PET keçe plakaların akustik ürüne (duvar-tavan paneli, hareketli mobilyalar, kaplama çözümleri vb.) dönüşmesi sırasında ortaya çıkan fireler toplanarak ayrıştırılmaktadır. Toplanan parçaların boyutları bir plastik kırma makinesi yardımıyla 5-25 mm'ye kadar küçültülmektedir. Parçacık boyutlarının küçültülmesiyle elde edilen atıklar termomekanik işlemler yardımıyla sertliği yüksek (Shore 95A), gözenekli ve hava geçirgen bir plaka oluşturmaktadır.



Şekil 1. PET Keçe üretimi ve Zerofelt üretimini gösteren süreç şeması

PET keçe üretimi ve Zerofelt üretimini gösteren süreç şeması Şekil 1.'de sunulmuştur. Yukarıdaki süreçlere göre çalışmaya konu teşkil eden ürünlerin lif ve gözenek yapılarına dair açıklamalar aşağıdaki gibidir:

- PET keçenin sıcaklık ve basınç ile Plate ve formlu ürünlere dönüştürüldüğü süreç olan 4 numaralı aşamada, lif geometrisi büyük oranda korunur ancak sıcaklık ve basıncın etkisiyle liflerin boyunda kısalmalar gözlemlenir. Sıcaklığın etkisiyle lif yüzeylerinde erime ve birleşmeler oluşacağı için gözenekli yapı değişikliğe uğrar. Bu süreçte yukarıda da açıklandığı gibi 14 mm kalınlıktaki yumuşak nonwoven tabaka 12 mm kalınlığa indirilir. (Şekil 2)



a. PET Keçe 14mm,



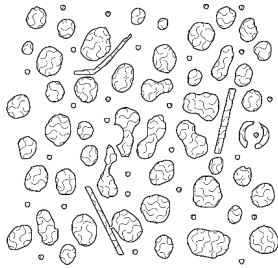
b. Keçe Plate, 12 mm

PET Keçe ve Plate lif yapısı ve gözeneklilik farklılıkları

Şekil 2. PET Keçe

Şekil 3. Plate

- Plate ve formlu ürüne dönüşüm sırasında ortaya çıkan üretim firelerinin parçacık boyutlarının plastik kırma makinesi yardımıyla 5-25 mm boyutlarına indirilen 5 numaralı aşamanın sonunda heterojen bir atık karışımı elde edilmektedir. Bu atık karışımında, parçalar kesilip küçültüldüğü için liflerin sürekliliği ortadan kaybolur, kısa, yönsüz ve düzensiz parçacıklar oluşur.
- Heterojen atık karışımının sıcaklık ve basınç uygulanarak tekrar bir plaka haline dönüştürülmesini gösteren 7 numaralı aşamanın sonunda Zerofelt adı verilen akustik plaka elde edilir. Zerofelt, lif temelli PET keçe tabaka (a) ve keçe plate'e (b) kıyasla yönsüz ve çok modlu bir gözenek mimarisine sahiptir.
- Zerofelt içinde farklı boyutlarda (küçük-orta-büyük) gözenekler bir arada bulunur. Birden fazla boyut ve davranış biçiminin bir arada bulunması farklı frekans bantlarındaki ses yutma kapasitesini değiştirecektir. Küçük gözenekler daha dar hava boşlukları içerdiği için kısa dalga boyuna sahip yüksek frekanslı sesleri daha iyi yutarken, büyük gözenekler orta frekanslı seslerin de malzeme içine girip enerjisini kaybetmesine izin verir.



Şekil 4. Heterojen Atık Karışımı



Şekil 5. Zerofelt Kesit, Gözenek Gösterimi

7 nolu aşamanın çıktısı olan Zerofelt, 150 x 300mm ölçülerinde 12mm (+/- 1) kalınlığında 300 gram ağırlığındadır, yoğunluğu ise 6600 g/m²'dir. Aynı kalınlıktaki plate ürünü ise 2500 g/m² yoğunluğa sahiptir.

1.3. Lif yapısının ses yutma katsayısına etkisi

Trinh (2020), emici malzemelerin akustik performansının, ses dalgaları bu ortamlarda yayılırken meydana gelen akustik enerji dağılım mekanizmaları tarafından belirlendiğini belirtmiştir. Akustik problemler üzerine yapılan birçok çalışmada, emici katmanların akustik davranışının (iletim ve emme özellikleri), gözeneklilik ve gözenek bağlantısı gibi yerel morfolojik parametrelerine yüksek derecede bağlı olduğu görülmüştür.

Gözenek bağlantısı bir malzemenin hacminin gözeneklerle (boşluklarla) kaplı olan kısmının toplam hacme oranıdır. Genellikle *açık porozite* ve *kapalı porozite* olarak ikiye ayrılır. [9] Bildiriye konu olmuş her iki ürün de açık porozite yapısına sahiptir. Bu da ses dalgalarının malzemenin içine nüfus etmesine olanak tanır.

Zerofelt ürünü 500 ve 1000 oktav bantlarda daha iyi performans gösterirken, 2000 ve 4000 Hz oktav bantlarda plate ürünü daha iyi performans göstermiştir. Makaledeki bulgular, gözenekliliği sabit tutulan açık hücreli köpüklerde hücre boyutunun akustik performans üzerinde belirleyici bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. [10], 0,15–0,45 mm aralığındaki hücre boyutlarının yüksek frekanslarda (>3 kHz) %80'in üzerinde ses yutumu

sağladığını göstermiştir. Bu durum, küçük hücre boyutlarının gözenek içerisindeki hava taneciklerinin sürtünmesini artırarak yüksek frekanslarda daha etkili enerji sönümlemesi ile ilişkilidir. Ancak aynı prensip, hücre boyutunun büyümesiyle birlikte yutma bandının daha düşük frekanslara kayacağını da ima etmektedir. Nitekim 5–25 mm arası ortalama hücre boyutuna sahip zerofelt paneller, gözenek içindeki hava kütlesinin rezonans etkisini artırarak ve akış yollarını uzatarak orta frekans bandında (500–1000 Hz) mekanik iğneleme ile üretilmiş keçe panellere kıyasla daha yüksek performans sergilemektedir. Bu sonuç, hücre boyutunun ayarlanması ile farklı frekans aralıklarında hedeflenen akustik performansın elde edilebileceğini doğrulamaktadır.

1.4. Yoğunluğun ses yutma katsayısına etkisi

Yoğunluk, akustik malzemelerin ses emilim performansını belirleyen önemli bir parametredir. Düşük yoğunluklu malzemeler, özellikle yüksek frekanslarda etkili ses emilimi sağlarken, yoğunluk arttıkça orta frekansta ses emilim kapasitesi artabilir. Ancak, yoğunluğun artması, yüksek frekansta ses emilim kapasitesini sınırlayabilir. Bu nedenle, spesifik bir frekans aralığında etkin ses emilimi sağlamak için malzeme yoğunluğunun dikkatlice seçilmesi gerekmektedir.

Aynı geometri ve aynı kalınlıkta Zerofelt ile Plate'in yoğunlukları birbirinden farklılık göstermektedir. Bunun temel sebebi, Zerofelt'in 12 mm kalınlıkta rijit ve dayanıklı bir levha olabilmesi için üretim firelerinden elde edilen heterojen karışımdan 300 gram kullanılması gerekliliğidir. Aynı boyutlarda farklı gramajlarla üretim denemeleri yapılmış ancak en başarılı sonuç 300 gramdan alınmıştır. (Tablo 1)

Tablo 1. Zerofelt seri üretim denemeleri, gramaj optimizasyonu

Numune Kodu	Boyutlar (mm)	Gramaj (g)	Kalınlık	Açıklama
ZRB01	150 x 300	151,75	10 mm	150 gramlık numune kırılğan bir yapıya sahip olmuştur.
ZRB03	150 x 300	199,8	11 mm	200 gramlık numune gevrek davranış göstermiş, istenilen kalınlığı elde edebilmek mümkün olmamıştır.
ZB01	150 x 300	299,78	12 mm	İki gramajda da aynı kalınlık elde edildi, ancak optimum sıcaklık ve basınçta 300 gramlık numuneden daha iyi sonuç alındı. Daha rijit bir panel elde edildi. Parçacık birleşmesi iyi derecedeydi.
ZB02	150 x 300	400,14	12 mm	
ZB03	150 x 300	382,3	13 mm	İstenen kalınlık 400 gramlık numunede sağlanamadı. İki numunede rijitlik ve dayanıklılık açısından eşit sonuç verdi. Ancak 400 gramlık numuneden sürekli aynı kalınlığı elde edebilmek için her üretimde farklı dakikalarda basım yapılması gerekiyor.
ZB04	150 x 300	300	12 mm	
ZB07	150 x 300	290,17	12 mm	300 gramlık numunenin hangi sıcaklık ve süre ile basılması gerektiği gözlemlenmiştir. ZB07 ve ZB08 farklı sürelerde de basılsa aynı kalınlığı vermiştir.
ZB08	150 x 300	291,8	12 mm	

Tabloda görüleceği üzere farklı gramajlarda denemeler yapılmış, kalınlık stabilizasyonu ve mekanik dayanıklılık sürekli olarak 300 gramlık üretimlerde gözlemlenmiştir.

Zerofelt üretiminde gramajla birlikte değişen parametrelerden biri de gözenekliliktir. 300 gramdan daha düşük gramajlarda üretim hattındaki sıcaklık ve basınca az miktarda malzemeyi eriterek daha sıkı birleştirmiş ve eriyen lifler gözenekler arasındaki boşlukları neredeyse hava geçirmeyecek biçimde kapatmıştır. Liflerin birbirini bağlayacak kadar sıkılaştırdığı fakat gözeneklerin de kapanmadığı sonuçlar 300 gram numunelerden alınmıştır.

Granüler malzemeler ile lifli malzemeler akustik açıdan birbirlerinden farklı davranışlar gösterirler. Granüler malzemelerde tanecikler istiflenerek birbiriyle temas eder, lifli malzemeler ise birbirine örgülenir ve dolaşır [11]. (Şekil 6)



Şekil 6. Lifli Yutucular ve Granüler Yutucular [12]

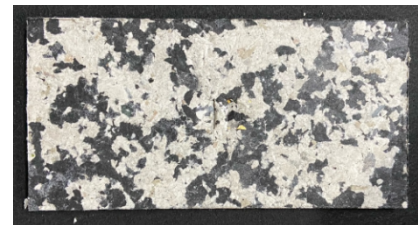
Zerofelt, lifli yutucuların mekanik parçalanma ardından parçacık boyutlarının dolayısıyla lif uzunluklarının küçültüldüğü granüllerin bir araya gelmesiyle elde edilmektedir. (Şekil 7 ve Şekil 8)



Şekil 7. Üretim fireleri

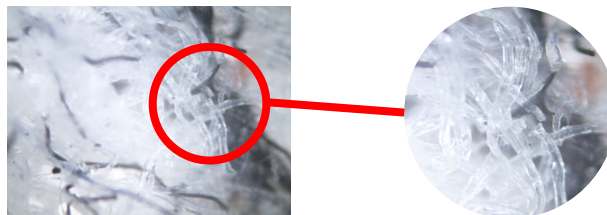


Şekil 8. Kırma makinesinde parçacık boyutları küçültülen üretim fireleri



Şekil 9. Zerofelt

Şekil 9'de siyah ve beyaz keçelerin üretim firelerinden elde edilen lifli granüllerin bir araya geliş biçimi ve parçacık boyutları görülebilmektedir. Zerofelt'te üst üste binen kısaltılmış lifler düzensiz hava cepleri oluşturur. Mikroskop görüntüsünde kısaltılmış lifler daha detaylı görülebilmektedir. (Şekil 10)



Şekil 10. Zerofelt mikroskop görüntüsü

2. ÖLÇÜMLER

Zero felt ürünün akredite test laboratuvarında ölçülmüş alfa değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 2. Zerofelt Ölçüm Sonuçları

63	125	250	500	1000	2000	4000
0,01	0,02	0,09	0,32	0,61	0,66	0,67

Buradan hareketle α_w değeri 0,35 ve sınıfı D olmaktadır.



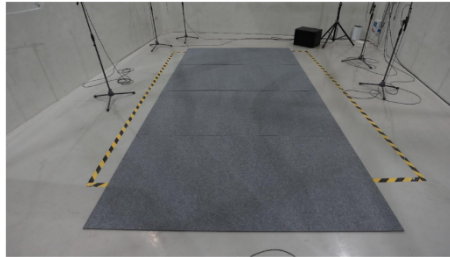
Şekil 11. Zerofelt Ürününe Ait Ölçüm Görseli

Plate ürününün akredite test laboratuvarında ölçülmüş alfa değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 3. Plate Ölçüm Sonuçları

63	125	250	500	1000	2000	4000
0,01	0,01	0,06	0,17	0,48	0,78	0,85

Buradan hareketle α_w değeri 0,25 ve sınıfı E olmaktadır.



Şekil 12. Plate Ürününe Ait Ölçüm Görseli

3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, PET keçe paneller ile üretim kaynaklı firelerden elde edilen Zerofelt panellerin akustik performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemeler ve deneysel ölçümler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

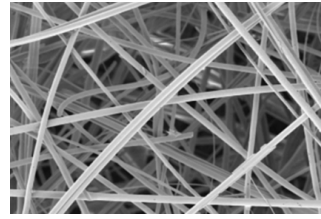
Gözeneklilik ve gözenek bağlantısı açısından ele alındığında her iki ürün de açık poroziteye sahip olup, ses dalgalarının malzeme içine nüfuz etmesine olanak tanımaktadır. [13] Gözeneklerin büyüklüğü ve dağılımı, panelin farklı frekans bantlarındaki performansını belirlemiştir.

Ölçüm sonuçlarında Zerofelt'in 250-1000 Hz bandında Plate'e göre belirgin biçimde üstün performans gösterdiği görülmektedir. Buna karşılık, Plate panelin daha yoğun ve homojen gözenek dağılımına sahip olması, yüksek frekanslarda (2000–4000 Hz) ses dalgalarının yüzeye daha kolay nüfuz etmesini ve daha yüzeysel absorpsiyon mekanizmalarının baskın hale gelmesini sağlar. Bu nedenle Plate, yüksek frekans bölgesinde daha iyi performans sergilerken; Zerofelt, orta frekanslarda daha etkili bir yutuculuk göstermektedir.

Tablo 4.-Zerofelt ve plate akustik ölçüm karşılaştırma tablosu

Ürün	63	125	250	500	1000	2000	4000
Zerofelt	0,01	0,02	0,09	0,32	0,61	0,66	0,67
Plate	0,01	0,01	0,06	0,17	0,48	0,78	0,85

İki üründe aynı kalınlıkta mikroyapı farkının bu performans farkına yol açtığı düşünülmektedir. Lifli yutucuların üretim firelerinden elde edilen granüllerin yoğunluğu yüksek biçimde paketlenmesi malzemenin daha kıvrımlı akış yolları (tortuosity/dolambaçlılık) oluşturarak daha yüksek akış direnci (flow resistivity, σ) göstermesine sebep olmuş olmuştur.



Şekil 13. Zerofelt mikroskop görüntüsü

Şekil 14. PET Keçe mikroskobik morfoloji [14]

Şekil 13 ve 14'te Zerofelt ve PET keçenin lif ve gözeneklilik yapısının mikroskop görüntülerinden iki ürün arasındaki dolambaçlılık (tortuosity) farkı açıkça görülebilmektedir.

Dolambaçlılığın yüksek olması (gözeneklerin girintili-çıkıntılı, kıvrımlı olması) hava moleküllerinin (akışkan moleküller) daha uzun ve karmaşık yollar izleyerek titreşmesine yol açar. Plate'in 500-1000 Hz. arasında Zerofelt kadar ses yutum performansı gösterememesinin sebebinin akış direnci ve dolambaçlılığının Zerofelt'e göre görece düşük olduğu düşünülmektedir. [15]

Hücre boyutunun etkisine bakılacak olursa, Zerofelt panellerde 5–25 mm arası heterojen hücre boyutları, orta frekans bandında (500–1000 Hz) yüksek performans sağlamıştır. Küçük hücreler yüksek frekanslarda enerji sönümlemesini artırırken, büyük hücreler orta frekanslı ses dalgalarının malzemeye daha derin nüfuz etmesine olanak tanımıştır [16] Yoğunluğun artışı orta frekanslarda ses emilimini artırırken, yüksek frekansta sınırlı etki göstermiştir. Bu durum, malzeme yoğunluğunun hedeflenen frekans aralığına göre optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Üretim firelerinin termomekanik yöntemlerle yeniden işlenmesiyle elde edilen Zerofelt, yönsüz ve çok modlu bir gözenek mimarisine sahip olup, farklı frekans bantlarında üstün performans göstermiştir. Bu yaklaşım hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemiş hem de malzeme verimliliğini artırmıştır.

2023 yılında G7 ülkeleri düzenledikleri İklim, Enerji ve Çevre Bakanları Toplantısı'nda 2040 yılına kadar plastik kirliliğini sıfıra indirme taahhütlerini uluslararası kamuoyuna

açıklamışlardır. AB Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması kapsamında 2026 yılında yürürlüğe girecek kararlar da AB'ye ihracat yapan şirketlerin karbon emisyonlarını raporlama ve azaltma yükümlülükleri bulunacaktır. Bu kapsamda Zerofelt, m²'de 6,5 kg üretim firesinin ileri dönüşümünü sağlayarak AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nın da öngördüğü minimum geri dönüştürülmüş içerik kriterleriyle uyumludur.

Çalışma, PET keçe ve Zerofelt panellerin, hem konvansiyonel ses yutucu malzemelere alternatif olarak kullanılabileceğini hem de döngüsel ekonomi yaklaşımıyla üretim firelerinin değer kazanmasını sağlayabileceğini göstermiştir. Bu, akustik konfor ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir yenilik sunmaktadır.

4. ÖNERİLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Çalışmada elde edilen bulgular, geri dönüştürülmüş malzemelerin mekanik ve akustik açıdan yüksek performans gösterebileceklerine dair ışık tutmaktadır. Ancak ilerleyen çalışmalarda yoğunluk, gözeneklilik ve dolambaçlılık (tortuosity) gibi parametrelerin daha sistematik bir şekilde incelenerek akustik davranış üzerindeki etkileri detaylandırılabilir. Ürün karbon ayak izi çalışması yapılarak Zerofelt'in üretim operasyonlarında karbon salınımında azalmaya yol açıp açmadığı incelenerek yaşam döngüsü analizi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Long, M. Architectural Acoustics. (M. Levy, & R. Stern , Dü) Elsevier Academic Press, 2006.
- [2] Sharma, R. PET Felt Acoustic Panels Market, 2024. Data Intelo: <https://dataintel.com/report/global-pet-felt-acoustic-panels-market> adresinden alındı.
- [3] Market Report Analytics. Recycled Polyester Acoustic Panel Analysis 2025 and Forecasts 2033: Unveiling Growth Opportunities, 2025. Market Report Analytics: <https://www.marketreportanalytics.com/reports/recycled-polyester-acoustic-panels-176775> adresinden alındı
- [4] Rossing, T. D. (2014). Handbooks of Acoustics (2 b.). New York: Springer.
- [5] Sabine, W. C. (1922). Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press.
- [6] Bradley, J. (tarih yok). Predictors of Speech Intelligibility in Rooms. The Journal of Acoustical Society of America , 80 (3), 837-845.
- [7] Hodgson, M. (2002). Rating, Ranking, and Understanding Acoustical Quality in University Classrooms. The Journal of Acoustical Society of America, 112 (2), 568-757.
- [8] Midha, V. K. (2005, June). Bulk and Physical Properties of Needle punched Nonwoven Fabrics. Indian Journal of Fibre&Textile Research, 30, 218-229.
- [9] Allard, J. F., & Atalla, N. (2009). Sound Propagation in Porous Materials Having a Rigid Frame. Wiley Online Library.
- [10] Trinh, V. H. (tarih yok). Study on Acoustic Property of High Porosity Open-Cell.
- [11] Cox, T. J., & D'Antonio, P. (2004). Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application. Londra, 11 New Fetter Lane, Londra: Spon Press.
- [12] Porous Sound Absorbers Explained. (2024, Mayıs 1). Ağustos 2025 tarihinde Atelier Crescendo: <https://ateliercrescendo.ac/porous-sound-absorbers-explained/> adresinden alındı.
- [13] Suo, H., Xu, J., Feng, Y., Liu, D., Tang, P., & Feng, Y. (2025).
- [14] Experimental Research and Theoretical Analysis of the Coupling Mechanism Between Microstructure and Acoustics in Porous Materials. Applied Sciences, 15(3104).
- [15] Foams bu Homogenization Approach. Journal of Science and Technique, 15 (4), 85-95.

YUTUCU YÜZEYİ ÜZERİNDEKİ SES HIZININ SES ALANI AYRIŞTIRMASI YOLUYLA İNCELENMESİ

Arif Onur Yürek¹, Tapio Lokki²

¹⁻²Aalto Üniversitesi, Espoo, Finlandiya
e-posta: arif.yurek@aalto.fi

ÖZET

Gözenekli yutucu malzemelerin yüzeyine yakın hava tabakasında ses yayılımını açıklayan teorik modeller, ses hızının yüzey düzlemine kadar sabit kaldığını varsaymaktadır. Ancak, bazı çalışmalarda yüzeye yakın bölgelerde dar sıyırma açısındaki yayılımlarda hız değişimleri veya dalga eğilmesi olabileceği ileri sürülmüştür. Bu çalışmada, gözenekli yutucu yüzeyi üzerinde sıyırma açısıyla yayılan ses dalgasının hızını incelemek üzere, doğrudan ve dolaylı ses alanlarının ayrıştırılmasına dayalı bir yöntem önerilmektedir. Referans serbest alan ve yüzey ölçümleri, yankısız bir odada sinüs süpürme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıştırılmış alan analizleri, doğrudan gelen ses dalgasının sabit hızda ilerlediğini ve dalga cephesinde herhangi bir eğilme gözlenmediğini ortaya koymuştur. Yüzey malzemesi kaynaklı dolaylı gelişlerin, toplam ses alanı kullanılarak elde edilen ses hızına etkileri ayrıca gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yutucu, gözenekli, biyomalzeme, yayılım, hız.

INVESTIGATION OF SOUND SPEED ABOVE ABSORBER SURFACE THROUGH SOUND FIELD SEPARATION

ABSTRACT

Theoretical models describing sound propagation in the air above porous absorbers assume that the speed of sound remains constant down to the surface plane. However, some studies have suggested that velocity variations or wave bending may occur in regions close to the surface when the incidence is close to grazing. In this work, a method based on the separation of direct and indirect sound fields is proposed to investigate the propagation speed of grazing-incidence sound waves above finite porous absorbers. Reference free-field and surface measurements were conducted in an anechoic chamber using the sine sweep technique. Analysis of the isolated sound field revealed that the directly arriving wave propagates at a constant speed, with no evidence of bending along the wavefront. Furthermore, the effects of surface-induced non-direct arrivals on the speed of sound estimated from the total sound field is demonstrated.

Keywords: Absorber, porous, biomaterial, propagation, speed.

1. GİRİŞ

Gözenekli yutucu yüzeylerin yakınındaki ses yayılımını ele alan teorik modeller, genellikle hava ile malzeme sınırında ani bir hız değişimi meydana geldiğini varsaymaktadır. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda yüzey üzerindeki hava tabakasında sıyırma açısıyla yayılan ses dalgasının hızını etkileyebilecek bir uyum katmanının varlığı öne sürülmüştür.

Bedell [1], yutucu yüzey yakınında ölçülen ses basıncının serbest alan tahminlerine göre beklenenden fazla azaldığını ve bunun, yüzeye yakın ses hızında olası bir düşüş ile dalga cephesinin eğilmesinden kaynaklanabileceğini göstermiştir. Tespit edilen azalmanın, kenar kırılımı etkisi dolayısıyla beklenenden daha güçlü olduğu ifade edilmiştir. Benzer şekilde, Janovsky ve Spandöck [2], tonal sinyaller ve dikey mikrofon çifti kullanarak yaptıkları ölçümlerde yüzey üzerindeki ses alanında beklenmedik azalmalar gözlemlemiş, bu olguyu “sahte” hava yutuculuğu olarak tanımlamış ve yüzeye doğru olası bir dalga eğilmesini sebep olarak göstermişlerdir. Polack [3], empedans yüzeyi üzerinde enerji korunumuna dayalı genelleştirilmiş bir formül türeterek, dar sıyırma açısıyla ilerleyen ışının yüzeye doğru eğilebileceğini teorik olarak açıklamış ve havada kalınlığı frekansa bağlı bir “uyum katmanı” oluşabileceğini öne sürmüştür; bu durumun, Janovsky ve Spandöck’ün gözlemlerini açıklayabileceğini ifade etmiştir. Daha yakın tarihli bir çalışmada, Yürek vd. [4], Janovsky ve Spandöck’ün yöntemini tekrarlamış, farklı yüksekliklerde ölçümler yaparak 400 Hz ile 1,2 kHz arasında yüzeye doğru eğilme ve alçak frekanslarda yukarıya doğru eğilme eğilimlerini ortaya koymuş ve bu etkilerin malzeme türü ile yüzey uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir. Ancak söz konusu deneysel çalışmalarda toplam ses alanı ele alınmış, doğrudan gelen ses dalgası ayrıştırılarak incelenmemiştir.

Bu çalışmada, gözenekli yutucu malzeme yüzeyi üzerindeki ses hızı ve olası bir uyum katmanı, ses alanı ayrıştırması yoluyla incelenmektedir. Ölçümler, yansız bir odada sinüs süpürme yöntemi ile gerçekleştirilmiş; yüksekliği ayarlanabilir bir kaynak ve mikrofon dizisi kullanılarak serbest alanda ve yüzey üzerinde ses alanı taraması yapılmıştır. Elde edilen dürtü yanıtları doğrudan ve dolaylı ses bileşenlerine ayrılarak frekans çözümlemesi ve Varış Zamanı Farkı (TDoA) analizlerinde kullanılmıştır. Ses hızı, hem doğrudan hem de toplam ses alanı kullanılarak elde edilen TDoA ve mikrofonlar arası mesafe kullanılarak hesaplanmış, yutucu malzeme türü, yüzey uzunluğu, sıyırma açısı ve yüzey mesafesi etkileri değerlendirilmiştir. Ek analizler, dolaylı ses bileşenlerinin toplam ses alanı kullanılarak elde edilen ses hızı üzerindeki etkisini göstermiştir.

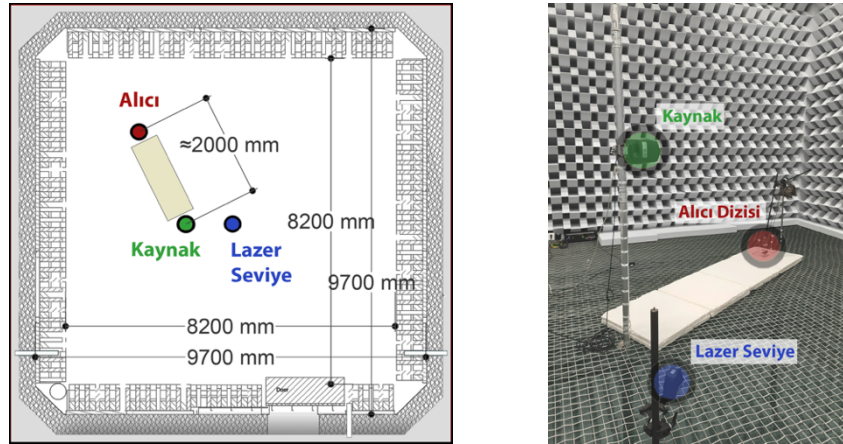
2. ÖLÇÜMLER

Bu çalışmanın yöntemi, yansız bir odada dürtü yanıtı ve frekans tepkisi ölçümlerini, doğrudan ve dolaylı ses alanlarının ayrıştırılmasını, çoklu bant geçiren filtreleme ve ölçülen TDoA'dan ses hızının hesaplanmasını içermektedir. Elde edilen veriler, referans yansız alan ölçümleriyle karşılaştırılarak, gözenekli yutucuların ses alanı ve yayılım özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2.1. Malzemeler ve ekipman

Ölçümler iki tip yüzey malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir: cam yünü ve selüloz bazlı *Bioboard* (Lumir, Finlandiya). Ölçüm düzeneği, 16 adet çok yönlü MEMS mikrofondan oluşan bir alıcı dizisi (miniDSP UMIK-X), üç yönlü bir koaksiyel hoparlör (Genelec 8331A),

lazer terazi (Bosch Professional GLL 3-50), ses kartı (MOTU UltraLite-mk3 Hybrid) ve Reaper ses



Şekil 1. Yansısız oda düzeni ve ölçüm düzeneği

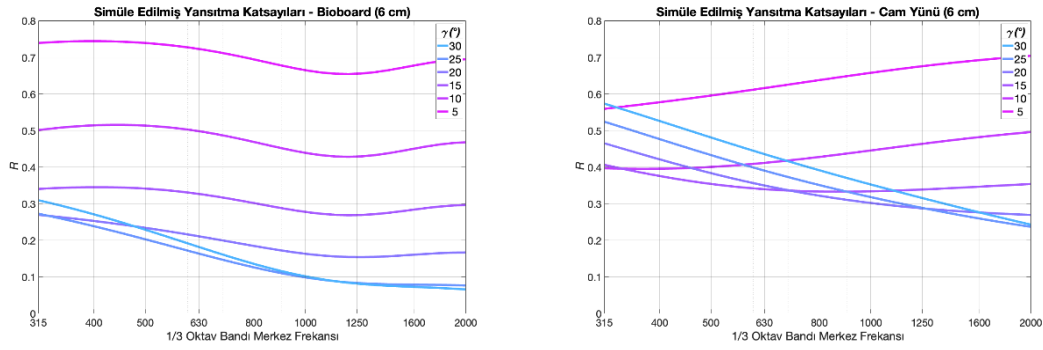
kayıt yazılımı içermektedir. Sonradan işleme MATLAB’da gerçekleştirilmiştir. Oda düzeni ve ölçüm düzeneği **Şekil 1**’de gösterilmektedir.

Ses alanı ölçümleri için 70 x 70 cm yüzey alanına sahip 6 cm kalınlığında cam yünü ve *Bioboard* paneller kullanılmıştır. Yutucular, yansısız odanın ağ örgüsüne yatay ve herhangi bir esnemez destek olmadan, serbest olarak yerleştirilmiştir. Hava-malzeme sınırı, referans yatay düzlem olarak tanımlanmış olup, yayılım yolundaki yutucu uzunluğunun ses alanına etkisinin değerlendirilebilmesi için panel sayısı bir ile dört arasında değiştirilmiştir.

Tablo 1. JCAL parametre ölçümleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik (ϕ)	Kıvrımlılık ($\alpha\infty$)	Viskoz Uz. (Λ)	Isıl Uz. (Λ')	Isıl Geç. (κ_0)	Hava Ak. D. (σ)
<i>Bioboard</i>	60	0.99	2.5	70	187	24	18200
Cam Yünü	60	0.97	1.05	19	52	16	75400

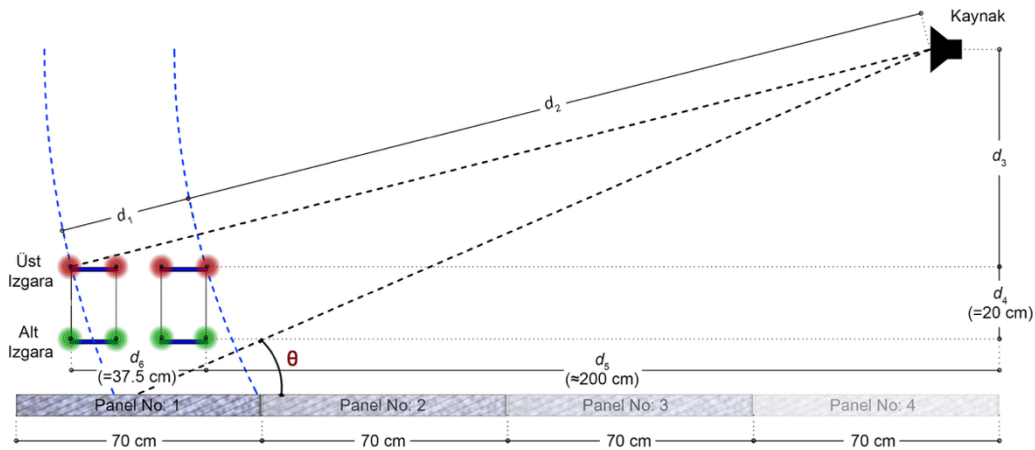
Malzemelerin serbest arka sınır koşulları altında sıyırma açısına bağlı yansıtma ve yutma katsayıları sayısal ortamda simüle edilmiştir. Bunun için ilk olarak 3-mikrofon yöntemi ile empedans tüpü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde elde edilen JCAL parametreleri (açık gözeneklilik (ϕ), dinamik kıvrımlılık yüksek frekans sınırı ($\alpha\infty$), karakteristik viskoz uzunluk (Λ), karakteristik ısı uzunluk (Λ') ve statik ısı geçirgenlik (κ_0)) RoKCell yazılım ortamında (Matelys, Fransa) karakterize edilmiştir [5]. Statik hava akış direnci (σ), ISO 9053-1 standardına göre laboratuvar ortamında doğrudan ölçülmüştür [6]. Parametre tahmin yöntemi, gözenekli yutucuların ölçülebilir dinamik yığınsal esneklik modülü $K(\omega)$ ve dinamik kütle yoğunluğundan $\rho(\omega)$ elde edilen analitik hesaplamalara dayanmaktadır [7]. Elde edilen ortalama JCAL parametreleri (bkz. **Tablo 1**) kullanılarak serbest arka sınır koşulları altında sıyırma açısına bağlı yansıtma ve yutma katsayıları AlphaCell yazılımı (Matelys, Fransa) kullanılarak simüle edilmiştir [8]. Elde edilen yansıtma katsayıları **Şekil 2**’de gösterilmektedir. Bu verilere göre, sıyırma açısı 10°’yi aştığında, cam yününün *Bioboard*’a oranla bütün frekanslarda daha fazla ses yansıtması beklenmektedir.



Şekil 2. Serbest arka sınır koşulları altında açıya bağlı yansıtma katsayısı simülasyonları.

Empedans tüpü ölçümlerinden elde edilen etkin yığinsel esneklik modülü $K(\omega)$ ve etkin yoğunluk $\rho(\omega)$ değerleri, *Bioboard* ve cam yünü içerisindeki ses hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Buna göre, *Bioboard* içerisindeki ses hızı 315 Hz ile 5 kHz frekans aralığında yaklaşık 80 m/s ile 170 m/s arasında değişirken, cam yününde aynı frekans aralığında yaklaşık 40 m/s ile 160 m/s arasında değişmektedir ve her iki malzeme içerisinde de ses hızı frekansla birlikte artmaktadır.

Ölçümlerde kullanılan mikrofon dizisi, 20 cm dikey uzaklık ile ayrılmış iki dikdörtgen ızgara halinde düzenlenmiş, toplam 16 adet çok yönlü MEMS mikrofondan oluşmaktadır. Ses kaynağı, mikrofon dizisi ve malzemeler, alıcıları iki gruba ayıracak şekilde dikey bir düzlemde merkez eksenleri boyunca hizalanmıştır. Dizi, birinci yutucu panelin üzerinde olacak şekilde konumlandırılmış, ölçümler boyunca, kullanılan panel sayısından bağımsız olarak aynı noktada yer almıştır. Sıyırma açısı (θ), kaynaktan birinci panelin merkezine çizilen ışının malzeme yüzeyi ile oluşturduğu açı olarak tanımlanmıştır ve kaynak yüksekliğine bağlı olarak 4° ve 23° arasında değişmektedir. Ölçümler sırasında kaynak ve mikrofon dizisinin hizalanması, lazer çizgi projeksiyonları kullanılarak düzenli aralıklarla kontrol edilmiştir. Ölçüm düzeneğinin yan görünüşü ve geometrik değişkenler Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Ölçüm düzeneği ve geometrik değişkenler.

2.2. Dürtü yanıtı ölçümleri

Dürtü yanıtları, 48 kHz hızda örneklenmiş ve 20 Hz ile 20 kHz frekans aralığını kapsayan bir sinüs süpürme sinyali ile ölçülmüştür. Ses kaynağının yüksekliği 15 cm ile 95 cm arasında, 10 cm adımlarla değiştirilmiştir. Ses alanıysa, yüzeyden 5 cm ile 50 cm mesafe arasında, 5 cm'lik adımlarla toplam on farklı yükseklikte ölçülmüştür. Bu yerdeğişimler elle gerçekleştirilmiştir.

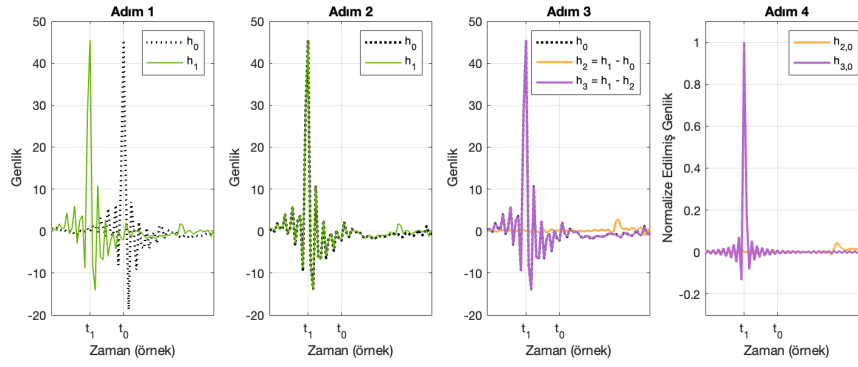
Her kaynak-dizi geometrisi için bir referans serbest alan ölçümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ölçümler, her iki malzeme için bir ila dört panel sayısına göre aynı pozisyonlarda tekrarlanmış olup, toplamda 6480 mikrofon sinyali elde edilmiştir.

2.3. Sinyal işleme

Bu çalışmada, sıyırma açısıyla gelen ses dalgasına ilişkin hız hesabı, düzlemsel dalga cephesi varsayımıyla birlikte, tanımlanmış her bir yükseklikte iki bilinen nokta arasında ölçülen Varış Zamanı Farkı (TDoA)'na dayanmaktadır. Yüzey üzerindeki ses alanı, dizideki her sıradaki kaynağa göre en yakın ve en uzak alıcılardan elde edilen sinyaller kullanılarak incelenmiştir. Bu iki alıcı, bundan sonra sırasıyla “ön” ve “arka” **mikrofonlar** olarak adlandırılacaktır. Her bir kaynak-alıcı geometrisine ilişkin basınç dağılımı ve yayılma hızı gibi referans değerler serbest alan ölçümleri ile belirlenmiş ve daha sonra yüzey malzemesi etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır.

İlk olarak, elde edilmiş bütün sinyaller yukarı örneklenmiştir. Bu işlem, dürtü yanıtı tepe noktasının komşu iki örnek arasına denk gelmesinden kaynaklanan genlik sorunlarını gidermek adına önemlidir. Ardından, yüzey üzerinde ölçülen toplam ses alanı, zaman tanım alanında sinyal çıkarımı kullanılarak doğrudan ve dolaylı bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Bu işlem, yüzey yanıtı (h_1) ile serbest alan yanıtının (h_0) hizalanmasını gerektirir. İki sinyal arasındaki ekipman kaynaklı gecikme ($\tau = t_0 - t_1$) çapraz korelasyon analiziyle belirlenmiştir. Gecikmenin tam sayı kısmı (τ_{10}) zaman tanım alanında sinyal kaydırımı yoluyla, alt-örnek kısmı (c_{10}) ise gene zaman tanım alanında filtreleme yoluyla telafi edilmiştir. Bu adımların ardından, dolaylı ses alanı $h_2 = h_1 - h_0$ ve doğrudan ses alanı $h_3 = h_1 - h_2$ olarak elde edilmiştir.

Bir sonraki aşamada, referans dürtü yanıtı (h_0) ters evrişim yoluyla h_1 , h_2 ve h_3 sinyallerinden çıkarılarak kaynak-alıcı zincirinin etkileri ve ölçüm ortamından kaynaklanan istenmeyen yansımalar telafi edilmiştir. Zaman tanım alanındaki evrişim, frekans tanım alanında noktasal çarpıma eşdeğer olduğundan, h_0 , h_1 , h_2 ve h_3 sinyalleri Fourier dönüşümü ile frekans tanım alanına taşınmıştır. Burada gerçekleştirilen ters evrişim sonrası elde edilen kaynak-alıcı etkisinden arındırılmış dürtü yanıtları ($h_{1,0}$, $h_{2,0}$ ve $h_{3,0}$) ters Fourier dönüşümü ile zaman tanım alanında yeniden elde edilmiştir. Ses alanı ayrıştırma ve ters evrişim adımları **Şekil 4**'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Adım 1: Gecikme tespiti. Adım 2: Gecikme telafisi. Adım 3: Sinyal çıkartma. Adım 4: Ters evrişim.

Yüzey üzerindeki frekansa bağlı ses yayılım özelliklerinin incelenebilmesi adına, elde edilmiş sinyaller 300. Dereceden sıfır fazlı bir bant geçiren sonlu dürtü yanıtı süzgeçi (Finite Impulse Response – FIR) ile üçte bir oktav bantlarında ortalanmıştır. Her yükseklikte, ön ve arka mikrofonlar arasındaki dar bant TDoA değerleri çarpaz korelasyon yöntemiyle belirlenmiştir. **Şekil 3**'te gösterilen geometrik değişkenler bilindiğinde, ön ve arka mikrofonlar arasındaki ses yayılım hızı (c') aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

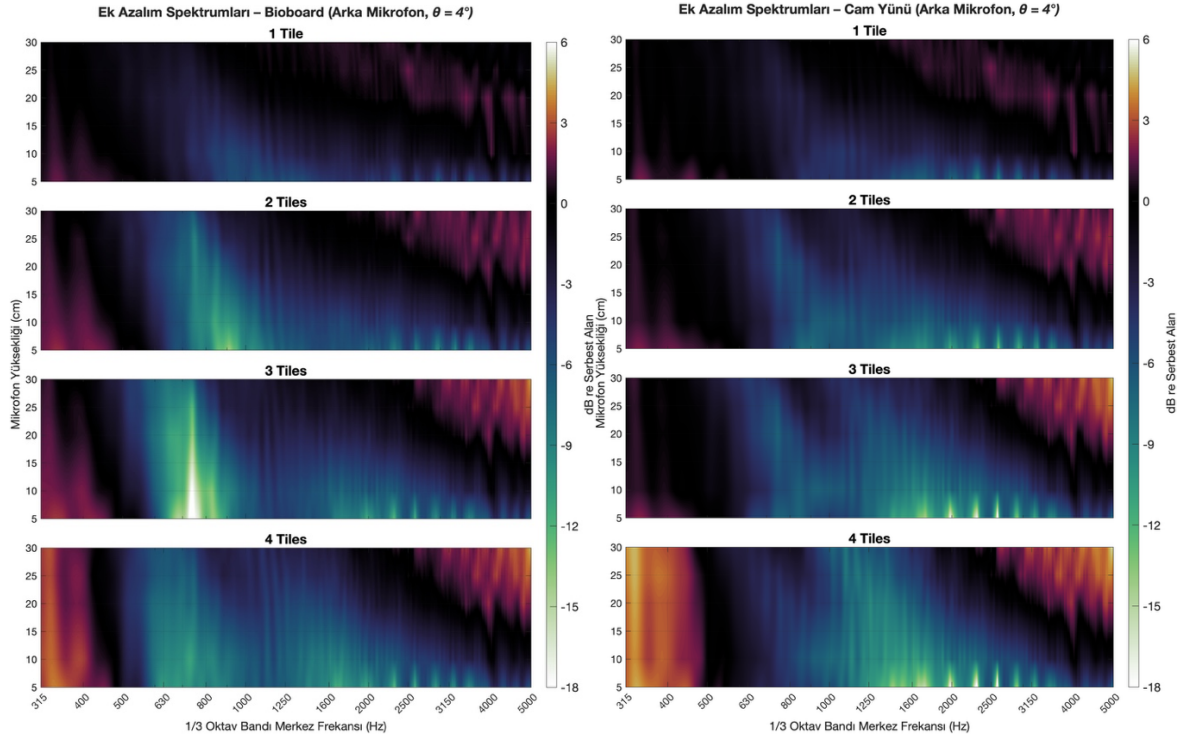
$$c' = d_1 / t \quad (1)$$

Burada d_1 kaynağa olan uzaklık farkını, t ise ön ve arka mikrofonlar arasında ölçülen TDoA değerini ifade etmektedir.

3. SONUÇLAR

3.1. Ek azalım spektrumları

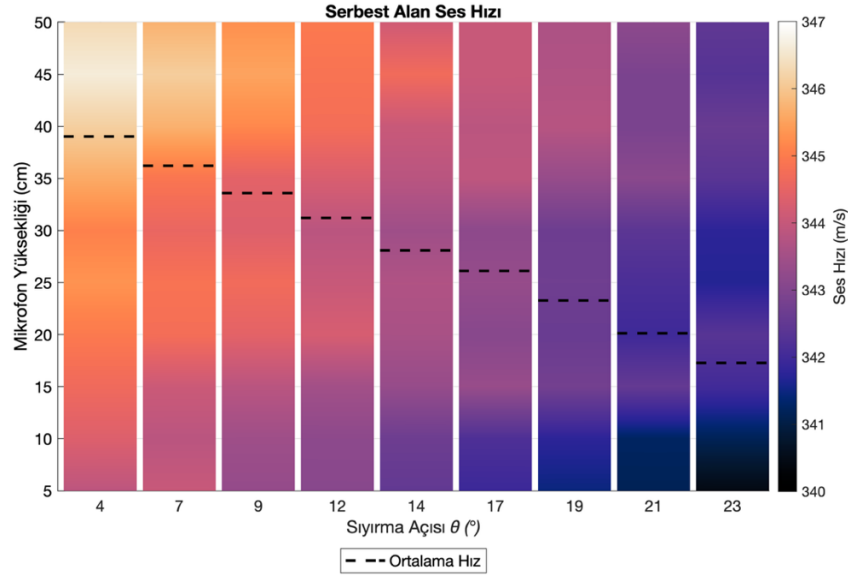
Yüzey malzemelerinin ses basınç seviyesi dağılımına etkileri, Ek Azalım Spektrumu (Excess Attenuation – EA) üzerinden incelenmiştir. **Şekil 5**, 4° sıyırma açısında farklı yutucu uzunlukları üzerinde arka mikrofonda ölçülen EA dağılımlarını göstermektedir. Doğrudan ve saçılmış alan arasındaki yıkıcı girişim etkileri, yüzeye yakın noktalarda en belirgindir ve yükseklik arttıkça kademeli olarak azalmaktadır. Yüzey uzunluğunun artmasıyla alçak frekanslarda gözlemlenen yapıcı girişim genel olarak daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca, malzeme özelliklerinin toplam ses alanı üzerindeki etkileri güçlenmekte ve malzemelerin davranış farkı kendisini daha açık göstermektedir. Örneğin, Bioboard ölçümlerinde 3 panelli düzende, 30 cm yüksekliğe kadar 700 Hz civarında güçlü bir yıkıcı girişim gözlenirken, bu durum cam yünü üzerinde görülmemektedir.



Şekil 5. 4° sıyırma açısında arka mikrofondan elde edilen Ek Azalım Spektrumu.

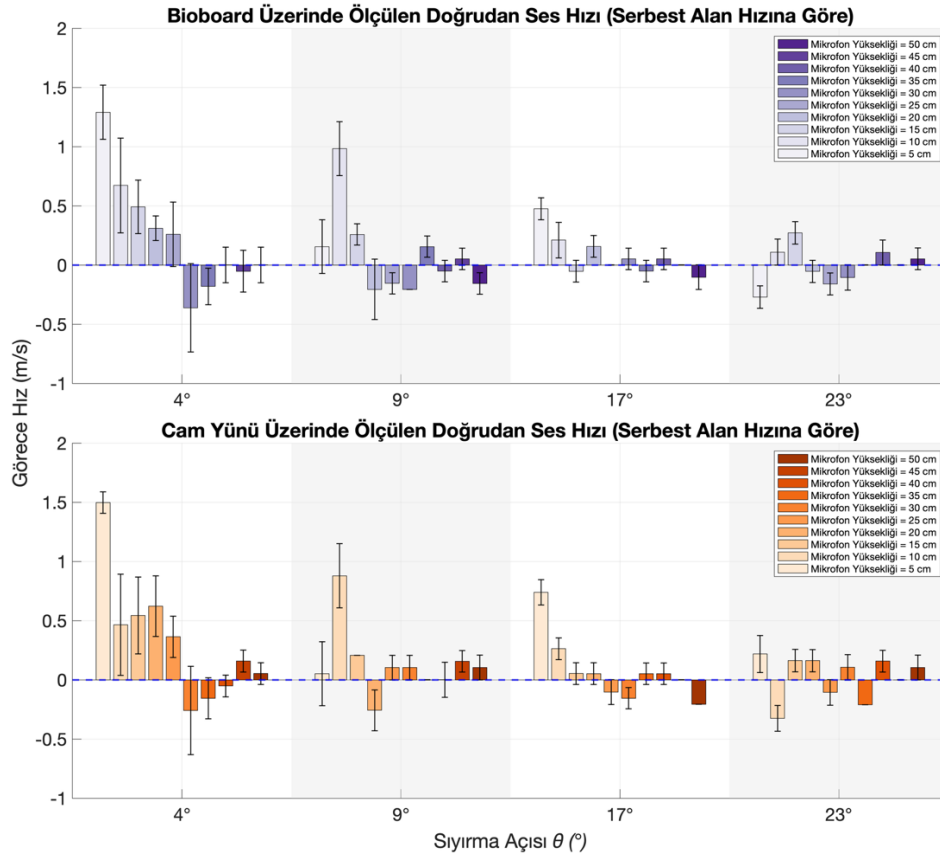
3.2. Ses hızı

Serbest alan ve yüzey ölçümleriyle elde edilen ses hızında frekansa bağlı değişimler bulunmamıştır. Bu sebeple, bu bölümde sunulan ses hızı değerleri, tüm frekans bantlarından elde edilen sonuçların ortalamasıdır. Şekil 6, tüm sıyırma açıları ve alıcı yüksekliklerinde ölçülen serbest alan ses hızını göstermektedir. Kesikli çizgiler, her bir sıyırma açısında ölçülen ortalama değeri işaret etmektedir. Ölçülen tüm koşullarda, ses hızı ortam sıcaklığındaki hava ile tutarlı olarak 340–347 m/s aralığında elde edilmiştir. Haritadaki renk dağılımı ve ortalama hızdaki doğrusal değişim, ölçüm geometrisinde sistematik bir sapmaya işaret etmektedir. Bu durum, kaynak üzerindeki ses yayılım noktasının, gözlemci noktası ve açısına göre yer değiştirmesiyle açıklanabilir. Bunun dışında, alıcı dizisindeki küçük kaymalar veya sıcaklık değişimlerinin de hafif bir etkisi bulunabilir.



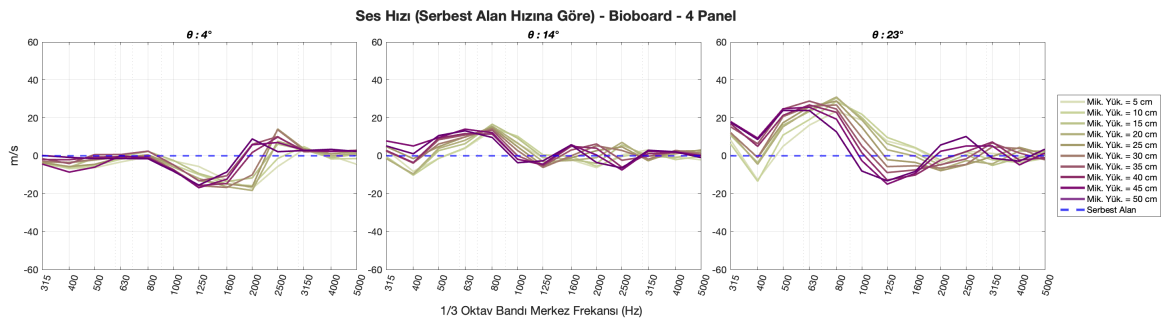
Şekil 6. Serbest alanda ölçülen referans ses hızı (m/s).

Bioboard ve cam yünü yüzeyleri üzerinde ölçülen doğrudan ses hızı, **Şekil 7**'de serbest alan ölçümlerine kıyasla gösterilmektedir. Sunulan sonuçlar, dört farklı sıyırma açısında (4° , 9° , 17° ve 23°) tüm mikrofon yüksekliklerinde ölçülmüştür ve farklı yutucu uzunluklarından elde edilen değerlerin ortalamasıdır. Hata çubukları, malzeme uzunluklarına ait standart sapmayı göstermektedir. Her iki grafik de doğrudan gelen ses hızının serbest alan değerlerine göre -1 ve 2 m/s sınırları içinde kaldığını göstermektedir. Bu durum, sonlu yüzey malzemesinin, doğrudan sesin hızına yüzeye 5 cm mesafeye kadar etki etmediğini göstermektedir. Bununla birlikte, referanstan en büyük sapmalar yüzeye yakın mesafede ve sıkı sıyırma açılarında (ör. 4°) gözlemlenmektedir. Artan sıyırma açısıyla, sapmalar azalmakta ve değerler, serbest alan referansına yaklaşmaktadır. Genel olarak, dört malzeme konfigürasyonu boyunca standart sapma nispeten küçük kalmakta ve bu da gözlemlenen eğilimlerin farklı yutucu uzunlukları arasında önemli ölçüde dalgalanmadığını göstermektedir.

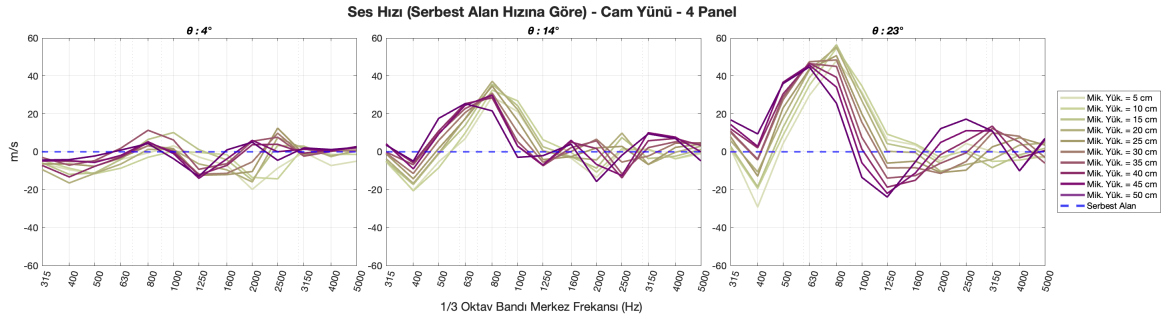


Şekil 7. *Bioboard* ve cam yünü üzerinde ölçülen doğrudan ses hızı. Sonuçlar, referans değerlere göre verilmiştir. Hata çubukları, dört farklı malzeme uzunluğuna ilişkin standart sapmayı göstermektedir.

Şekil 8’de sırasıyla (a) *Bioboard* ve (b) cam yünü üzerinde, tamamen kaplanmış bir yayılım yolu için toplam ses alanından (h_l) elde edilen görece ses hızı gösterilmektedir. Şekil 7 ile karşılaştırıldığında, veri ölçeğindeki değişiklik dikkat çekicidir. Hız hesabı tam ses alanı üzerinden yapıldığında, elde edilen ses hızının frekansa bağlı değişimi belirgin şekilde gözlemlenmektedir. Referans hıza kıyasla kaydedilen farklılıklar, yalnızca sıcaklık dalgalanmalarıyla açıklanabilecek seviyeyi aşmaktadır. Her iki malzemede elde edilen sonuçlar farklılık gösterse de, genel eğilimler benzerlik taşımakta ve ses hızındaki önemli sapmalar benzer frekans bantlarında ortaya çıkmaktadır.



(a)



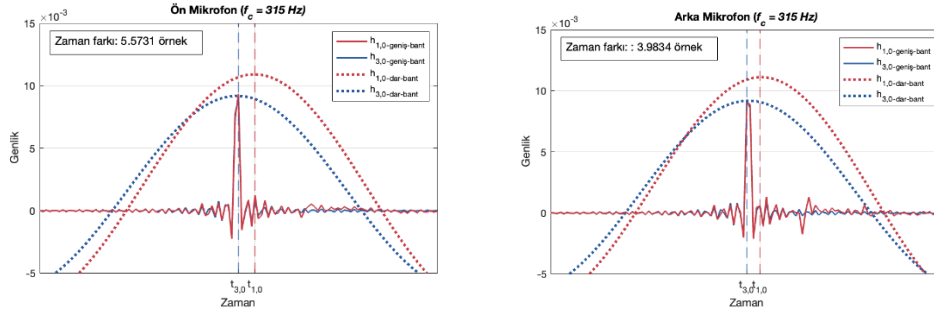
Şekil 8. (a) Bioboard (b) cam yünü üzerinde ölçülen ses hızı. Sonuçlar, toplam alan analizinden elde edilmiştir.

4. EK ANALİZLER

Doğrudan ve toplam alanlardan elde edilen ses hızı hesaplamalarındaki farklılıklar, yüzey malzemesinden kaynaklanan saçılma etkilerinin daha detaylı incelenmesini gerektirmiştir. Bu amaçla, mikrofon dizisinin dolaylı gelişlere maruziyeti Sanal Kaynak Yöntemi (ISM) ile analiz edilmiş. ISM analizinde alıcılar için üç durum tanımlanmıştır: (1) Yansımalar hem ön hem de arka mikrofonu isabet etmemektedir; bu senaryo, yalnızca tek panel mevcutken, alıcı yüksekliği 5 cm ve sıyırma açısı 4° olduğunda gözlemlenmektedir. (2) Yansıyan dalga arka mikrofonu ulaşmakta, öndeki mikrofonu isabet etmemektedir. (3) Yansımalar her iki mikrofonu da ulaşmaktadır; bu durum, sıyırma açısından bağımsız olarak, üç ve dört panel üzerindeki tüm yüksekliklerde geçerlidir.

Her alıcıda doğrudan ve yansımış gelişler arasındaki beklenen zaman gecikmesi hesaplanmıştır. Her ön mikrofondaki ölçülen zaman gecikmesi, ilgili arka mikrofonu göre sürekli olarak daha fazladır; örneğin, beklenen gecikme arka mikrofonlarda 1-50 örnek aralığındayken, ön mikrofonlarda 1-59 örnek arasında değişmektedir. Bununla birlikte, aynı yükseklikteki iki alıcı arasındaki gecikme farkı 9 örneği aşmamaktadır; zira mikrofonlar arası mesafe, kaynak-dizi mesafesine kıyasla oldukça küçüktür. ISM tarafından öngörülen zaman gecikmeleri, ölçülmüş dürtü yanıtlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Dolaylı gelişlerin, toplam alan kullanılarak hesaplanan dar bant TDoA ve ses hızı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, ön ve arka mikrofonlardan elde edilen ve frekans süzgecinden geçirilmiş dürtü yanıtları analiz edilmiştir. Şekil 8’de, her iki alıcıda ölçülen doğrudan ve toplam alan sinyallerinden elde edilen 315 Hz oktav bandındaki dürtü yanıtları gösterilmektedir. Bant geçiren süzgeç uygulamasından sonra, toplam alan sinyali ($h_{1,0}$) doğrudan geliş takip eden dolaylı gelişler nedeniyle gecikmeye uğrarken, doğrudan alan sinyali ($h_{3,0}$) zamansal konumunu korumaktadır. Her bir mikrofondaki zaman kayması ($t_{1,0} - t_{3,0}$), $h_{1,0}$ ile $h_{3,0}$ sinyallerinin çapraz korelasyonu ile bulunmuştur. $h_{3,0}$ kullanılarak elde edilen ses hızı, serbest alan değerinden yalnızca 0.2 m/s saparken, $h_{1,0}$ kullanıldığında iki mikrofon arasındaki bant sınırlı TDoA’nın azalması nedeniyle 16 m/s’lik bir artış gözlenmektedir.



Şekil 8. Bant geçiren frekans süzgecinin dar bant varış zamanı üzerindeki etkisi.

5. SONUÇ

Hava ile gözenekli yutucu sınırının üzerinde sıyırma açısıyla ilerleyen ses dalgalarının doğrudan ve dolaylı bileşenleri sinyal çıkarımı yoluyla birbirinde ayrılmıştır. Ayrıştırılmış alan analizi, doğrudan gelen dalga cephesine ait bant sınırlı varış zamanı farkının (TDoA), dolayısıyla elde edilen ses hızının, serbest alan koşullarındaki değerlerle hemen hemen aynı kaldığını göstermiştir. Bu bulgu, yüzeye yakın bölgede frekansa bağlı bir uyum tabakasının varlığına dair daha önce öne sürülen görüşü kısmen çürütmektedir. Ayrıca, ses hızının tüm frekans bantlarında benzer kaldığı gözlenmiştir. Bu da havanın, yüzeye 5 cm mesafeye kadar, dispersif olmama özelliğini koruduğunu ortaya koymaktadır. Farklı yüksekliklerde ölçülen ses hızındaki küçük farklılıklar, geometrik ve ısı belirsizliklerin getirdiği sınırlar içinde kalmıştır.

Öte yandan, toplam ses alanına dayalı sonuçlar, önceki çalışmalar ile uyum göstermektedir. Bu yolla hesaplanan ses hızında frekansa, geliş açısına, yüzeye olan mesafeye ve yutucu uzunluğuna bağlı değişimler gözlemlenmiştir. Dar bant dürtü yanıtları üzerine yapılan ek analizler, bant sınırlı TDoA değerlerinin, doğrudan dalga cephesinin ardından gelen dolaylı bileşenlerden önemli ölçüde etkilendiğini doğrulamıştır. Elde edilen deneysel bulgular, görünürdeki ses hızının dolaylı gelişlerin frekans, genlik ve varış zamanına bağlı olduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak, *Bioboard* ve cam yünü üzerinde ölçülen Ek Azalım spektrumları (bkz. **Şekil 5**) ve ses hızı değişimleri (bkz. **Şekil 8**) iki malzemenin farklı sınır koşulu özelliklerini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Bedell, E., Some data on a room designed for free field measurements, The Journal of the Acoustical Society of America 8 (2), pp. 118–125, 1936.
- [2] Janowsky, W., Spandöck, F., Aufbau und untersuchungend eines schallgedampften raumes, Akust. Z 2, pp.322–331, 1937.
- [3] Polack, J.-D., Generalized formulation for acoustics, 2019.
- [4] Yürek, A., Heldmann, J., Lokki, T., Bending of sound waves in the vicinity of porous materials, Forum Acusticum, Torino, Italy, 2023.
- [5] M. R. Lab, Rokcell, <https://rokcell.matels.com/>
- [6] International Organization for Standardization, ISO 9053-1:2018 - Acoustics — Determination of airflow resistance, standard (2018).
- [7] Jaouen, L., Gourdon, E., Gle, P., Estimation of all six parameters of johnson-champoux-allard-lafarge model for acoustical porous materials from impedance tube measurements, The Journal of the Acoustical Society of America 148 (4) 1998–2005.512, 2020.
- [8] M. R. Lab, Alphacell, <https://alphacell.matels.com/>

HELMHOLTZ REZONATÖRLERİNDE FORM FAKTÖRÜNÜN ETKİLERİNİN BİR REZONATÖR ÖLÇÜM ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğancan Akbay¹, Suat Vergili², Feridun Öziş³, Konca Şaher⁴

¹⁻²⁻³Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir, Türkiye

e-posta: d.akbay@ogr.deu.edu.tr, suat.vergili@deu.edu.tr, feridun.ozis@deu.edu.tr

⁴Kadir Has Üniversitesi, Cibali, İstanbul, Türkiye

e-posta: konca.saher@khas.edu.tr

ÖZET

Helmholtz rezonatörleri, belirli bir frekanstaki ses enerjisini sönmüleyerek düşük frekanslı gürültü kontrolünde etkili olan pasif akustik elemanlardır. Bu çalışmada, helmholtz rezonatör geometrisinde; özellikle hacim, boyun uzunluğu ve çapına bağlı form faktörlerinin rezonans frekansı ve akustik performans üzerindeki etkileri incelenmiş, literatürde yer alan teorik, sayısal ve deneysel rezonatör ölçüm yöntemlerinin bir derlemesi yapılmıştır. Yapılan tüm analizler ışığında bir rezonatör formuna karar verilmiştir ve bu form imal edilip çınlama odası içerisinde ölçülecek hale getirilecektir. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilecek veriler teorik hesaplarla karşılaştırılıp tasarımın dayandırıldığı matematiksel altyapı doğrulanmaya çalışılacaktır. Çalışmanın başarıya ulaşması durumunda farklı alternatifleri geliştirilebilir Helmholtz rezonatörleri elde edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Helmholtz, emici, bas frekans, geometri, rezonatör.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE FORM FACTOR IN HELMHOLTZ RESONATORS THROUGH A RESONATOR MEASUREMENT EXAMPLE

ABSTRACT

Helmholtz resonators are passive acoustic elements that are effective in low frequency noise control by damping sound energy at a certain frequency. In this study, the effects of form factors, especially volume, neck length and diameter, on the resonant frequency and acoustic performance of Helmholtz resonator geometry are investigated and a review of theoretical, numerical and experimental resonator measurement methods in the literature is made. In the basis of all the analyses, a resonator form has been decided and this form will be fabricated and measured in a reverberation chamber. The data obtained after the measurements will be compared with the theoretical calculations and the mathematical background on which the design is based will be verified. If the study is successful, it is aimed to design Helmholtz resonators with different alternatives.

Keywords: Helmholtz, absorber, bass frequency, geometry, resonator.

1. GİRİŞ

Akustik biliminde rezonatörler, belirli frekanslarda üzerlerine gelen ses enerjisini büyütme veya absorbe etme kapasiteleri nedeniyle oldukça önemli bileşenlerdir. Rezonatörler arasında, 19. yüzyılın ortalarında Hermann von Helmholtz tarafından geliştirilen Helmholtz rezonatörü, hem tarihsel açıdan hem de mühendislik uygulamaları açısından temel bir yapıya sahiptir. Helmholtz rezonatörleri, içi boş bir hacim (kavite) ve bu hacme bağlı dar bir boğazdan oluşan basit bir yapıya sahiptir. Temel prensip, hava kütlelerinin boğazda ileri geri hareket ederek salınım yapmasıdır. Bu salınım, belirli bir rezonans frekansında yoğunlaşarak ses dalgalarını kuvvetlendirir veya rezonatörün iç yapısına ve yapıldığı materyalin özneliliklerine bağlı olarak zayıflatır ve sistemin emici davranmasını sağlar.

Helmholtz rezonatörlerinin istenilen frekansta etkili çalışabilmesi için boyutları ve geometrik oranları oldukça önemlidir. Rezonatörün boğaz çapı, boğaz boyu, kesit alanı ve iç hacmi gibi fiziksel parametreler, rezonans frekansını doğrudan belirleyen unsurlar olup bu özelliklerin bütününe “form faktörleri” adı verilmesinde bir sakınca yoktur. Form faktörleri değiştirildiğinde rezonatörün çalışma frekans aralığı ve sönümleme verimi önemli ölçüde değişir. Bu nedenle, akustik tasarım sürecinde rezonatör form faktörlerinin analitik ve deneysel olarak dikkatle incelenmesi gereklidir.

Modern akustik tasarım pratiklerinde, Helmholtz rezonatörleri yalnızca çınlama kontrolü sağlamak amacıyla değil, aynı zamanda bas frekans problemlerini çözmek, ses yalıtım sistemlerini iyileştirmek ve yapı içi titreşimleri bastırmak için de kullanılmaktadır. Özellikle konser salonları, kayıt stüdyoları, sinema salonları, motorlu taşıtlar ve HVAC sistemleri gibi düşük frekanslı gürültülerin sorun yarattığı alanlarda, doğru tasarlanmış Helmholtz rezonatörleri büyük oranda çözüm sağlamaktadır. Ancak bu sistemlerin başarısı, rezonatörlerin hedeflenen frekansta en verimli şekilde çalışmasına bağlıdır. Bu nedenle rezonatör tasarımında form faktörlerin belirlenmesi, sadece teorik hesaplara değil, aynı zamanda deneysel doğrulamalara ve sayısal analizlere dayandırılmalıdır.

2. KURAMSAL ARKAPLAN

Helmholtz rezonatörleri, serbest alan rezonans teorisine dayalı olarak çalışan ve spesifik bir frekansta ses enerjisini sönümleyen pasif akustik elemanlardır. Bu sistemlerin temel prensibi, küçük hacimli bir boşluk (kavite) ve ona bağlı dar bir boyun (boğaz) boyunca hava kütlelerinin salınımına dayanır. Bu yapı, bir harmonik osilatör gibi davranarak belirli bir frekansta rezonansa girer. Bu rezonans, ses enerjisinin rezonatör tarafından absorbe edilmesine ve bu sayede çevre ortama daha az yansımaya neden olur. Helmholtz rezonatörü, klasik anlamda bir akustik kütle-yay sistemi olarak modellenenebilir. Buradaki “kütle”, boğaz kısmındaki hava sütunu tarafından temsil edilirken; “yay” ise iç boşluktaki sıkıştırılabilir hava hacmini temsil eder. Bu iki parametrenin etkileşimi sonucunda rezonans frekansı oluşur.

2.1. Akustik empedans

Empedans genel olarak, sisteme dışarıdan uygulanan bir basınca veya potansiyel farka göre değişen q_i itme değişkeninin etkisi sonucunda ortaya çıkan, q_a , akış değişkenine oranı olarak tanımlanır. Empedans kimi zamanlarda frekans üzerinden çalışan bir kavramdır ve matematiksel ifadesi (1) zamana bağlı şekilde yazılabilir:

$$Z = \frac{q_i(x,y,z;t)}{q_a(x,y,z;t)} [1] \quad (1)$$

Empedansın frekansa bağlı olduğu durumlarda, ki bu durumlar düzlemsel olmayan dalgalar için geçerlidir, sistemi zaman uyumlu bir hareket gibi incelemek gerekir.

Bir sistemin zamanla uyumlu hareket yaptığı göz önünde bulundurularak $q_i = Q_i(x,y,z)e^{j\omega t}$ ve $q_a = Q_a(x,y,z)e^{j\omega t}$ olarak yazılabilir. Yukarıdaki ifadede ilgili değişkenler yerine koyulduğunda zamanla uyumlu empedans

$$Z = \frac{Q_i}{Q_a} \text{ ile ifade edilir. [1]} \quad (2)$$

Bu durumda akustik empedans, sistemin üzerine gelen ortalama basıncın sistemdeki hareket eden hava hacminin hızına oranı olarak tanımlanabilir. Spesifik akustik empedans ise bir noktadaki akustik basıncın aynı noktadaki parçacık hızına oranı olarak tanımlanır. Yaptığımız çalışmada belirli bir hacim içerisinde belirli bir frekans için emicilik gözlemlenmesi hedeflendiği için burada bizi ilgilendiren durum spesifik akustik empedans ile oldukça yakından ilişkilidir.

2.2. Helmholtz rezonatöründe rezonans frekansı

Bir Helmholtz rezonatörünün rezonans frekansı, sistemin doğal frekansıdır ve akustik empedansın maksimum olduğu durumdur. Ortamdaki ses dalgasının karakteristik empedansının rezonatörün empedansına eşit olduğu durumda maksimum emicilik gerçekleşecektir. Bir Helmholtz rezonatörünün etkili emicilik gösterdiği frekansı hesaplamak için kullanılan formül (eş.3)' de verilmiştir:

$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{A}{V \cdot L_{eff}}} [8] \quad (3)$$

Burada f_0 rezonans frekansı, c sesin hızı, A boğaz kesit alanı, V kavite iç hacmi ve L_{eff} boğazın efektif uzunluğunu belirten parametrelerdir. Eğer rezonatör geometrisi ile ilgili parametreler özenle seçilir ve materyal seçimi konusunda dikkatli davranılırsa etkili emicilik frekansı ve yakın bantlarında iyi performanslı bir emicilik görülebilecektir. Rezonatörün çalışma aralığı, yani bant genişliği ise sürtünme ile ilgilidir. Rezonatör içerisindeki sürtünme büyüdükçe rezonatör daha geniş bir bantta fakat daha düşük genlikte titreşecek ve dolayısıyla emicilik gösterecektir. Geçmiş yıllarda yapmış olduğumuz bir çalışmada rezonatör içerisine yerleştirilen taş yünü yoğunluğunun değiştirilmesi ile etkili emicilik frekansındaki performansın nasıl değiştiği görülmüştü. Emilemeyen ses enerjisi ise rezonatörün giriş deliğinden genellikle yarım küreler halinde geri yayılacaktır. [5]

3. HELMHOLTZ REZONATÖRLERİNDE GEOMETRİK PARAMETRELERİN ETKİSİ

Helmholtz rezonatörlerinin etkili emicilik frekansı belirlenirken parametreler doğru seçildiğinde maksimum performansa ulaşılabilir. Rezonatörün hangi frekansta etkinlik göstereceğinin belirlenmesi rezonatörün kendi rezonans frekansı ile tanımlanır. Bu frekans, kavite hacmi ile boyun geometrisine bağlı olarak değişir. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, boyun uzunluğu/çapı oranının (l/d) kritik bir parametre olduğunu göstermektedir.

Düşük (l/d) oranlarında tek boyutlu modeller yeterli olurken, oran arttıkça iki ve üç boyutlu dalga yayılımı göz önüne alınmalıdır. Ingard tarafından önerilen uç düzeltmeleri, özellikle geçiş bölgelerinde hesaplamaların doğruluğunu artırmak için kullanılır. [11]

Geometrik varyasyonlara dair yapılan çalışmalarda, dairesel, konik ve küresel boşluklara sahip rezonatörlerin farklı iletim kaybı ve rezonans frekansı değerleri sunduğu gözlemlenmiştir. Bu konuda yapılmış olan çalışma, hacim sabit tutulsa bile şekil değişikliğinin rezonatör davranışında önemli değişikliklere neden olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, delik pozisyonunun ve kavite derinliğinin rezonans frekansı üzerindeki etkileri de doğrusal modellerle deneysel olarak doğrulanmıştır. [14]

4. UYGULAMA

Bir Helmholtz rezonatörünün istenilen frekansta etkinlik gösterebilmesi için kavitenin iç hacimi, boyun uzunluğu ve boyundaki giriş çapı parametreleri arasında doğru ilişki kurulması gerektiğinden bahsetmiştik. Aşağıda verilen ve (eş.3)'den türetilerek elde edilen formül (eş.4) kullanılarak yapılmış olan hesaplama ile, etkinliği 70 Hz civarında olması beklenen bir rezonatör formuna karar verilmiştir.

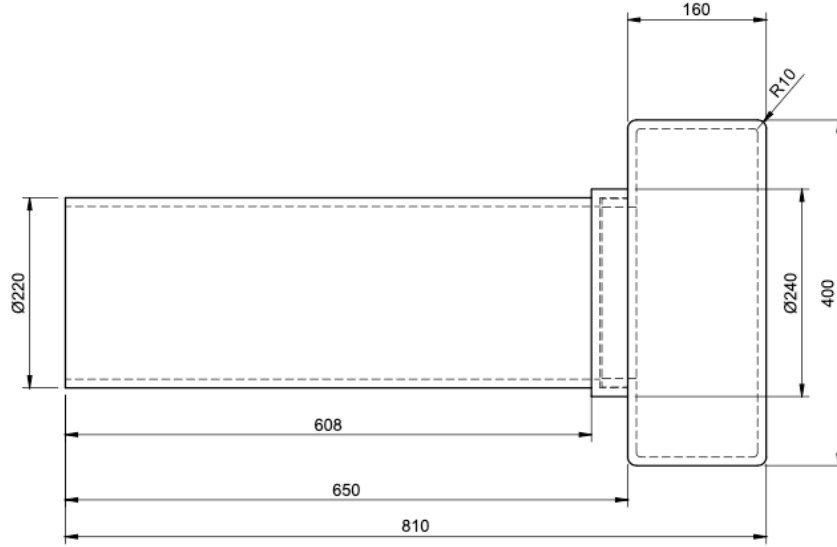
$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{A}{V(l+0,8d)}} \quad [8] \quad (4)$$

Yukarıdaki ifadede A rezonatör boynundaki ses dalgasının giriş yapacağı bölgenin kesit alanı, l boyun uzunluğu, d ise boyun girişi çapını ifade etmektedir. 0,8 sabit çarpanı düzeltme faktörü olarak adlandırılır ve uç düzeltmeleriyle ilgilidir.

Burada her ne kadar etkili emicilik görülmek istenen frekans form ile ilgili parametreler değiştirilerek elde edilebilecek olsa da, bu yapının etkili çalışabiliyor olmasının yanında kullanım alanına göre estetik görünüme ve ayakta durabilmeye ihtiyacı vardır. Yukarıda 2. Bölümde bahsedilen ve (Mekid, Farooqui, & Liu, 2019) referansında anlatılan form değişikliğinin hesaplanan etkili emicilik frekansındaki performans değişikliklerine sebep olduğu bilgisi göz önünde bulundurularak karar verilmiş olan formlardan bir tanesinin imalatı yapılmış ve laboratuvar ortamında ölçülmek üzere hazırlanmıştır. İlerleyen zamanda aynı etkili emicilik frekansında çalışacak bir başka form daha imal edilip etkili emicilik frekansındaki performanslar karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

4.2. Numunenin ölçüme hazırlık süreci

Yapılacak olan deneylerde kullanmak üzere aşağıdaki şekilde teknik çizimi yer alan rezonatörlerden 4 adet imal edildi. Rezonatörler, geleneksel yöntemle üretilen toprak testilerden ilham alınarak imal edildi ve istenilen form elde edildikten sonra fırınlanarak dayanıklılığını arttırmak plandı.



Şekil 1. Numuneye ait teknik çizim



Şekil 6. Numune imalatı aşamasına ait resimler

4.3. Ölçüm süreci

Numunenin ölçümleri İzmir/Bornova’da bulunan BLX Akustik Araştırma Laboratuvarı’nda yapılmıştır. BLX Akustik Araştırma Laboratuvarı Türkak’dan akredite ve çınlama odası kalifikasyonu olan bir test laboratuvarıdır. Gerçekleştirilen ölçümler, ISO 354 çınlama odasında ses yutumu ölçümü standardına atıf yapan ISO 20189 standardına göre yapılmıştır. Bu standart iç mekânda kullanılmak üzere tasarlanmış hareketli bölmeler, mobilyalar ve tekil objelerin emiciliklerini ölçmek için kullanılan standarttır.

Basitçe ifade etmek gerekirse, ISO 354 standardına göre yapılan çınlama süresi ölçümünde numune çınlama odasının içerisinde değilken ölçülen çınlama süresinden elde edilen eşdeğer

yutum alanı (A_1) ile numune içerideyken ölçülen çınlama süresinden elde edilen eşdeğer yutum alanı (A_2) arasındaki farktan yola çıkılarak elde edilen A_T değeri Sabine formülü kullanılarak hesaplanır.

Numuneler önce içerisine gözenekli materyal koyulmadan ölçülmüş, hemen ardından da içerisine önce sadece zeminde, sonra da zeminde ve boyunda olacak şekilde yerleştirilen keçeden üretilmiş gözenekli malzemeler yerleştirilerek ölçülmüştür.

Ölçüm sürecine ait birkaç görüntü aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır.



Şekil 7. Çınlama odası içerisinde ölçüm süreci

5. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Eşdeğer yutum alanları hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılır:

$$A_1 = \frac{55,3.V}{c.T_1} - 4.Vm_1 \quad (5) \text{ ve } A_2 = \frac{55,3.V}{c.T_2} - 4.Vm_2 \quad [9]$$

A_1 ve A_2 eşdeğer yutum alanları olmak üzere, yukarıdaki formülde yer alan T_2 ve T_1 sırasıyla numune çınlama odası içerisindeyken ve değilken ölçülmüş çınlama sürelerini ifade ederken c sesin hızı, V odanın hacmi ve m_1 ve m_2 ise ölçüm boyunca çınlama odası içerisindeki atmosferik koşullar kullanılarak ISO 9613-1'e göre hesaplanmış 1/metre cinsinden güç azaltma katsayısıdır. m değeri ISO 9613-1'de kullanılan azalma katsayısından aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$m = \frac{\alpha}{10\log(e)} \quad [9] \quad (6)$$

$A_T = A_1 - A_2$ ve n çınlama odası içerisindeki numune sayısı olmak üzere $A_{obj} = A_T/n$ olarak ifade edilir. $a_{obj,k}$, $A_{obj,k}$ parametreleri birbirine bağlı parametreler olup $a_{obj,k}$ test edilmiş tekil bir nesnenin eşdeğer yutum alanının test edilen nesnenin alanına oranını belirtirken, $A_{obj,k}$ test edilen objenin metrekaare cinsinden eşdeğer yutum alanını ifade eder.

$$a_{obj,k} = A_{obj,k} / S \quad [10] \quad (7)$$

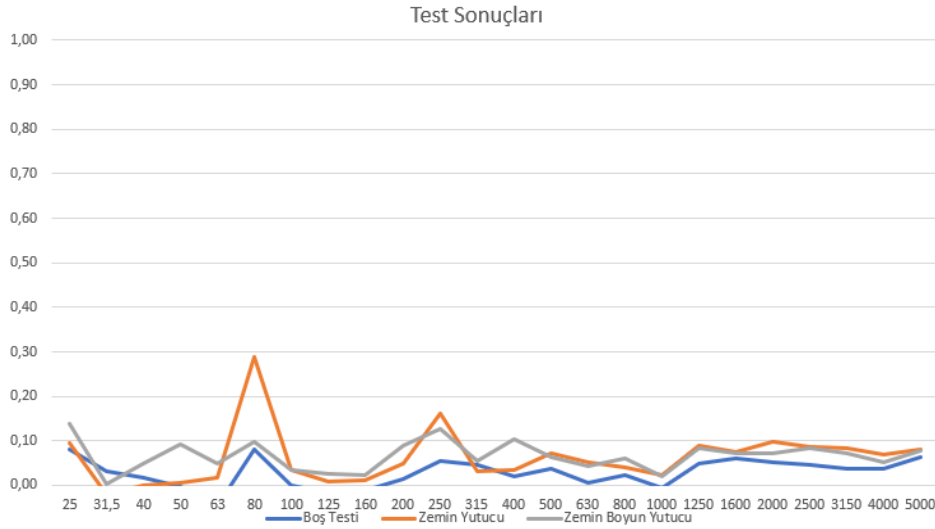
ISO 20189 standardında verilen hesaplama formülü yukarıdaki gibidir. Formüldeki S, tekil objenin yüzey alanını belirtir.

5.2. Verilerin gösterilmesi

Ölçümler 25 Hz-5000 Hz arasında alınmıştır. Her frekans için ölçülen çınlama süreleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 1 25 Hz-5000Hz arasında ölçülmüş çınlama süreleri

<i>Frekans</i>	T_1	$T_{2(zeminde)}$	$T_{2(bos)}$	$T_{2(Zemin+boyun)}$
25 Hz	25,25	18,18	18,86	16,11
31.5 Hz	11,02	11,44	10,43	10,99
40 Hz	16,01	16,07	15,28	14,17
50 Hz	17,56	17,27	17,68	13,92
63 Hz	19,32	18,32	22,54	16,69
80 Hz	16,46	9,26	13,55	13,01
100 Hz	15,7	14,38	15,65	14,37
125 Hz	13,65	13,41	14,18	12,91
160 Hz	11,91	11,65	12,18	11,36
200 Hz	8,68	8,11	8,49	7,7
250 Hz	8,5	6,93	7,89	7,21
315 Hz	9,04	8,6	8,44	8,34
400 Hz	9,23	8,74	8,91	7,94
500 Hz	8,22	7,46	7,8	7,53
630 Hz	7,31	6,85	7,23	6,92
800 Hz	6,82	6,5	6,64	6,37
1 kHz	5,91	5,79	5,94	5,8
1.25 kHz	5,72	5,3	5,48	5,32
1.6 kHz	5,07	4,81	4,85	4,82
2 kHz	4,48	4,22	4,34	4,29
2.5 kHz	4,14	3,95	4,04	3,95
3.15 kHz	3,72	3,57	3,65	3,59
4 kHz	3,32	3,21	3,26	3,24
5 kHz	2,71	2,61	2,63	2,61



Şekil 4. Ölçülen çınılama süreleri üzerinden yapılan hesaplamalar sonucu elde edilmiş α değerleri grafiği

6. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılmış olan farklı ölçümlerden elde edilen veriler Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Elde edilmiş olan maksimum emicilik performansı zeminde gözenekli yutucu materyal yerleştirilmiş rezonatör ile elde edilmiştir. Farklı denemeler yapılmasına rağmen elde edilen maksimum emicilik performansı kayda değer bir emicilik performansı değildir. Bunun sebepleri arasında seçilen formun sebep olduğu bazı komplikasyonlar olabileceği gibi kullanılan materyalin çok sert olması ve dolayısıyla salınım hareketini gerçekleştiremediği için gövde rezonansının sağlanamaması, buna bağlı olarak düşük performans gözlemlenmesi olabilir. Eldeki materyal ile daha etkili performans görebilmek için rezonatör giriş deliğine bir membran kapatmak veya giriş deliği çapını küçültecek bir aparat ile ölçüm almak gibi başka denemeler de yapılmış (Şekil 5 ve Şekil 6) ve elde edilen sonuçlara göre etkili emicilik frekansında farklılıklar görülse de performans bakımından bir katkı bulunmamıştır. Rezonatörün etkili emicilik performansını yükseltmek için çalışmalar devam etmektedir. İlerleyen süreçte benzer geometrik yapıya sahip fakat daha esnek bir materyal kullanılarak imal edilecek rezonatörlerin ölçümleri de gerçekleştirilecek ve elde edilen veriler önceki verilerle karşılaştırılarak buradaki performans düşüklüğüne sebep olan etken kesin olarak ortaya çıkartılmaya çalışılacaktır. Benzer geometrinin farklı materyal ile imal edilmesinden sonra yapılacak ölçümlerden elde edilecek performansın bu çalışmadaki verilerle karşılaştırılması sonucunda, görülen düşük performansın sebebinin materyal ile ilgili olup olmadığı net olarak ortaya çıkartılmaya çalışılacaktır. Eğer farklı bir materyal kullanılarak daha yüksek bir emicilik performansı elde edilirse, seçilen yeni materyal kullanılarak farklı geometrilerde fakat aynı etkili emicilik frekansında olması hedeflenen rezonatörler imal edilerek form ile ilgili değişikliklerin performans üzerindeki etkileri gözlemlenmeye çalışılacaktır. Yapılan bu çalışmada şimdiye kadarki süreç bize, önerilen formüllerin kullanılmasının tam olarak hesaplanan frekanstaki emiciliği sağlamasa da yakın bir bantta emicilik elde etmeye fayda sağlayabileceğini göstermiştir. Bunun daha net anlaşılabilmesi için daha yüksek emicilik performansına sahip rezonatörlerin imal edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5. Rezonatör boynundaki giriş çapı küçültülerek yapılan ölçümler esnasında çınlama odası içerisindeki numune fotoğrafı



Şekil 6. Rezonatör boyun girişinin membran kullanılarak kapatılması ile etkili emicilik frekansındaki değişiklikler ve performans farklılıkları gözlemlenmeye çalışıldı.

KAYNAKLAR

- [1] Blackstock, D. T., & Atchley, A. A. (2001). *Fundamentals of physical acoustics*. Wiley.
- [2] C., C. (1997). Effects of geometry on the resonance frequency of Helmholtz resonators, Part II. *Journal of Sound and Vibration*, 204(5), 829–834.
- [3] Chen, Z. (2022). Investigation of Helmholtz resonators with curved tapered embedded neck extension. University of Bristol, Department of Aerospace Engineering.
- [4] Dickey, N. S., & Selamet, A. (1996). Helmholtz resonators: One-dimensional limit for small cavity length-to-diameter ratios. *Journal of Sound and Vibration*, 195(3), 512–517. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0452>
- [5] Everest, F. A., & Shaw, N. A. (2001). *Master handbook of acoustics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [6] Fletcher, J. A. (1992). The design of a modular sound absorber for very low frequencies [Research Department Report]. British Broadcasting Corporation (BBC) Research & Development.
- [7] Gautam, A., Celik, A., & Azarpeyvand, M. (2021). An experimental and numerical study on the effect of spacing between two Helmholtz resonators. *Acoustics*, 3(1), 97–117. <https://doi.org/10.3390/acoustics3010009>
- [8] Gray, D. E. (1972). *American institute of physics handbook*. McGraw-Hill.
- [9] International Organization for Standardization. (2003). ISO 354:2003 – Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room. ISO.
- [10] International Organization for Standardization. (2018). ISO 20189:2018 – Acoustics — Screens, furniture and their elements — Lab method for measurement of sound absorption. ISO.
- [11] Kanev, N. G. (2018). Maximum sound absorption by a Helmholtz resonator in a room at low frequencies. *Acoustical Physics*, 64(6), 774–777. <https://doi.org/10.1134/S1063771018060052>
- [12] Komkin, A. I., Mironov, M. A., & Bykov, A. I. (2017). Sound absorption by a Helmholtz resonator. *Acoustical Physics*, 63(4), 385–392.
- [13] Mahmud, M. A., Islam, M. S., Hossain, M. Z., & Morshed, M. M. (2016). A comparative study between different Helmholtz resonator systems. *Canadian Acoustics / Acoustique Canadienne*, 44(4).
- [14] Mekid, S., Farooqui, M., & Liu, Z. (2019). Geometry effects on the noise reduction of Helmholtz resonators [Abstract]. King Fahd University of Petroleum and Minerals & Dresser-Rand Company.
- [15] Selamet, A., Radavich, P. M., Dickey, N. S., & Novak, J. M. (1997). Circular concentric Helmholtz resonators. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 101(1), 41–51. <https://doi.org/10.1121/1.417986>

ÇEŞİTLİ GEOMETRİK PARAMETRELERE SAHİP AKUSTİK MENFEZLERİN EKLEME KAYBI SAYISAL İNCELEMESİ

Mete Ögüç¹, Ali Fethi Okyar², Tahsin Khajah³

¹**İstanbul Atlas Üniversitesi**, Kağıthane, İstanbul, Türkiye

e-posta: mete.oguc@atlas.edu.tr

²**Yeditepe Üniversitesi**, Ataşehir, İstanbul, Türkiye

e-posta: okyar@yeditepe.edu.tr

³**The University of Texas at Tyler**, Tyler, Teksas, A.B.D.

e-posta: tkhajah@uttyler.edu

ÖZET

Bu çalışma, akustik menfezlerin ekleme kaybı (IL) performansını değerlendirmek amacıyla açık kaynak kodlu FEniCS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen sayısal bir modeli sunmaktadır. SEY analizleri, 1 Hz ile 11.360 Hz arasındaki frekans aralığında, 10 Hz frekans çözünürlüğüne sahip gelen dalga için yürütülmüş ve açık alan oranları %30, %40 ve %50 olan durumlar için gerçekleştirilmiştir. Bulgular, modelin düşük frekanslarda üretici verileriyle uyumlu eğilimler sunduğunu göstermiştir. Çalışma ayrıca, IL parametresinin akustik menfez performansını değerlendirmede iletim kaybı TL veya ses azaltım indisi R gibi ölçütlere kıyasla daha uygun bir gösterge olduğunu vurgulamaktadır. Bunun yanı sıra, SEY ile sağlanan yüksek frekans çözünürlüğü sayesinde kritik frekans davranışlarının ayrıntılı biçimde incelenebileceği ve gelecekte serbest biçimli kanat tasarımlarının SEY tabanlı şekil optimizasyonu yöntemleriyle geliştirilebileceği ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik ve titreşimler, sonlu elemanlar analizi, mekanik titreşimler ve gürültü.

NUMERICAL INVESTIGATION OF INSERTION LOSS OF ACOUSTIC LOUVERS WITH VARIOUS GEOMETRIC PARAMETERS

ABSTRACT

This study presents a numerical model developed using the open-source FEniCS software to evaluate the insertion loss (IL) performance of acoustic louvers. The FEM analyses were carried out for an incident wave in the frequency range from 1 Hz to 11,360 Hz with a frequency resolution of 10 Hz, considering common open area ratios of 30%, 40%, and 50%. The results indicate that the model provides trends consistent with manufacturer data, particularly at low frequencies. The study also emphasizes that IL is a more appropriate indicator of acoustic louver performance compared to metrics such as transmission loss (TL) or sound reduction index (R). Furthermore, it demonstrates that the high frequency resolution enabled by FEM allows a more detailed investigation of critical frequency behavior, and suggests that in the future, free-form blade geometries could be developed through FEM-based shape optimization methods.

Keywords: Acoustics and vibrations, finite element analysis, mechanical vibrations and noise.

1. GİRİŞ

Gürültü kirliliği, son birkaç on yılda gerçekleşen yoğun kentleşme ile artan önemli bir çevre sorunudur. Avrupa Yaşam Kalitesi anketine göre katılımcıların %32'si gürültüden şikâyetçi olmuş, Avrupa Birliği'nde her beş kişiden biri 55 dB(A) üzeri gürültüye maruz kalmıştır [1]. Dünya Sağlık Örgütü kılavuzlarında da gürültünün geçici rahatsızlıklardan hipertansiyon ve iskemik kalp hastalığına kadar pek çok olumsuz etkisi vurgulanmıştır [1,2,3].

Bu artışın başlıca nedeni, çok katlı binalarda yüksek kapasiteli mekanik ekipmanların yaygın kullanımıdır [4]. Bu tür alanlarda gürültü kontrolü için susturucular, ses tuzakları, kanal kaplamaları ve titreşim izolatörleri önerilmekle birlikte [5], sınırlı hacim nedeniyle genellikle ekipman odaları gürültüye duyarlı alanlara çok yakın konumlanmaktadır. Başlıca gürültü kaynakları arasında havalandırma santralleri, fanlar, kazanlar, pompalar ve jeneratörler yer almakta; bu cihazların hava ihtiyacı nedeniyle giriş-çıkış açıklıklarında ses sönümleyiciler kritik önem taşımaktadır [6]. Bu amaçla en yaygın kullanılan elemanlardan biri akustik menfezlerdir.

Akustik menfezler, hava akışına izin verirken belirli düzeyde ses sönümlenme sağlayan elemanlardır. Normal menfezlerden farklı olarak hem hava ve ışık kontrolü yapar hem de gürültüyü azaltırlar. Açılı kanatları sayesinde hava akışını fazla kesmeden ses yolunu perdeleyerek etkili bir sönümlenme üretirler [5,7,8,9].

Bir menfezin işlevselliği; kalınlık, kanat açıları, açık alan oranı (OAR) ve kanatlar arası mesafe gibi geometrik parametrelerle doğrudan ilişkilidir [10]. Akustik menfezlerden standart bir menfezin işlevlerine ek olarak gürültü kontrol işlevselliği beklenir. Genellikle susturucu kullanımı mümkün olmayan sınırlı alanlarda akustik menfezlerin kullanımı tercih edilir. ISO 14163, akustik menfezler için orta düzey gürültü kontrol gerekliliklerini tanımlamaktadır [11].

Bu çalışmada, farklı parametrelere sahip menfezlerin ses azaltma performansı Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile incelenmiş, Helmholtz denklemi çözülerek akustik davranışları değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Akustik menfezların gürültü kontrol etkinliği, genellikle ekleme kaybı (IL) ile değerlendirilir. Ekleme kaybı, eleman varlığında ve yokluğunda belirli bir noktada ölçülen ses basınç seviyeleri (L) arasındaki farktır. L değeri referans basınç $p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$ olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Ekleme kaybı (Insertion Loss, IL), bir akustik elemanın kanala eklenmesiyle iletilen ses enerjisinde meydana gelen azalmayı ifade eder. Başka bir deyişle, ses azaltıcı yokken ölçülen ses basınç seviyesi L_1 ile ses azaltıcı varken ölçülen seviye L_2 arasındaki farktır. Bu nedenle ekleme kaybı:

$$IL = L_1 - L_2 \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır ve desibel cinsinden ifade edilir.

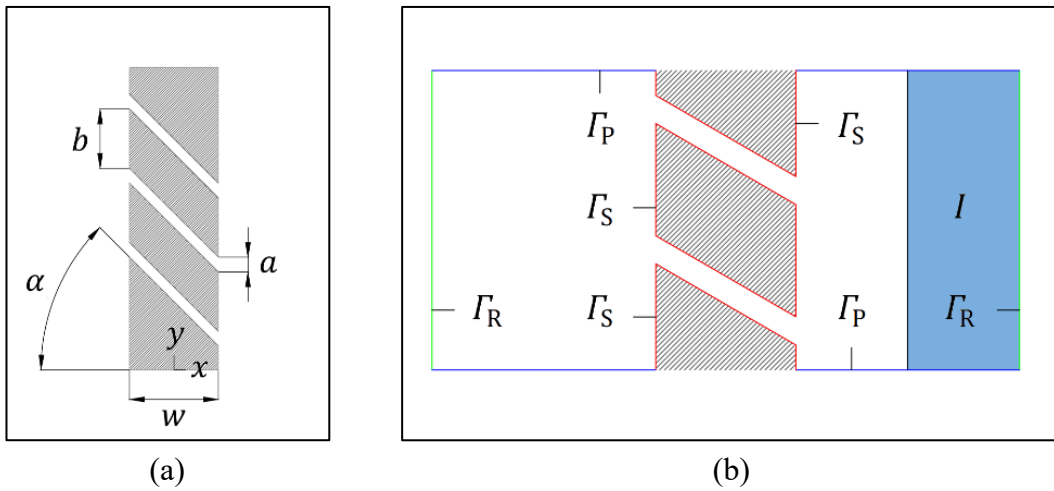
Menfezin temel geometrik parametreleri Şekil 1(a)'da gösterilmiştir: kanat açısı (α), kesit genişliği (w), kanat aralığı (a) ve kanat kalınlığı (b). Açık alan oranı (OAR), serbest alanın toplam kesit alanına oranı olarak tanımlanır ve akustik performans üzerinde kritik etkiye sahiptir.

İki boyutlu menfez geometrisi akustik davranışı, çözüm alanı Ω olmak üzere Helmholtz denklemi

$$\nabla^2 u_s + k^2 u_s = 0, \quad \Omega \text{ içinde} \quad (3)$$

çözülerek modellenmiştir.

Burada u_s saçılan dalga bileşenini, k açısal dalga sayısını, ∇ ise iki boyutlu Laplace operatörünü ($\nabla = \partial/\partial x + \partial/\partial y$) temsil etmektedir. Bu modelde x yönünde gelen dalga $u_{inc} = e^{ikx}$ ile saçılan dalga u_s toplanarak toplam dalga $u = u_{inc} + u_s$ ile bulunur.



Şekil 1. Akustik menfez (a) konvansiyonel geometrik özellikleri, (b) SEY çözüm modeli.

SEY modeli ve sınır şartları şematik olarak Şekil 1(b)'de verilmiştir. Robin sınır koşulu empedans eşitliği biçiminde Γ_R girişi ve çıkışlarda, periyodik sınır koşulu Γ_P üst ve alt kenarlarda tanımlanmış, kanat yüzeyleri Γ_S akustik olarak sert kabul edilmiştir. Menfez çıkışında belirli bir alan I tanımlanarak ortalama akustik basınç değerleri hesaplanmış ve IL ölçütü bu alandan elde edilmiştir. Hesaplamalar $f \in [63, 8000]$ Hz aralığında 1/3 oktav bantlarında gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekans çözünürlüğü sağlamak için $f \in [1, 11360]$ Hz aralığında $\Delta f = 10$ Hz frekans adımı kullanılmıştır.

Her bant b , merkez frekansı f_c^b ve bant sınırları $[f_{min}, f_{maks}]$ ile tanımlanır [12]. Her bant için artan bant genişliği nedeniyle gelen dalganın ses basınç seviyesi yaklaşık $3/N$ dB azalır:

$$L_{inc}^{b+1} - L_{inc}^b = 10 \log_{10} \left(\frac{f_c^{b+1}}{f_c^b} \right) \approx \frac{3}{N}. \quad (4)$$

Burada N , bant bölme sayısını temsil eder. 1/3 oktav bant için $N = 3$ olacaktır. Böylece gelen dalga için ses basınç düzeyi L_{inc}^b bant başına yaklaşık 1 dB azalış ile modellenir.

Bir banttaki katkı ise basınç kareleri integrali ile tanımlanan spektral yoğunluk fonksiyonu üzerinden hesaplanır:

$$(p^b)_{ort} = \left(\int_{f_{min}}^{f_{maks}} p^2 df \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Buna karşılık gelen ses basınç seviyesi:

$$L^b = 10 \log_{10} \left(\frac{(p^b)_{ort}^2 \Delta f_{ref}}{p_{ref}^2 \Delta f^b} \right), \Delta f_{ref} = 1 \text{ Hz}, \quad (6)$$

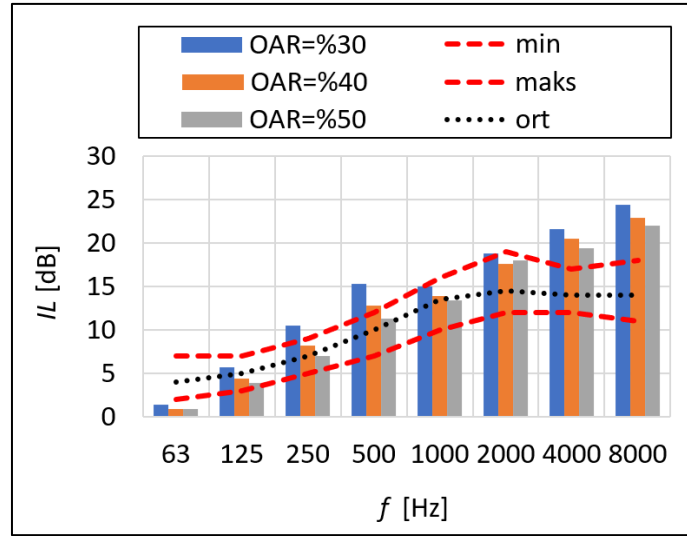
olarak bulunur. Son aşamada ekleme kaybı IL, çıkış alanı I üzerinde hesaplanan toplam ile gelen dalgaların ses basınç düzeyleri farkı alınarak hesaplanır:

$$IL = L^b - L_{inc}^b. \quad (7)$$

Çözüm ağı yoğunluğu $n_\lambda = 10$ dalga boyu başına eleman olarak belirlenmiş, özellikle düşük frekanslarda kanat aralıklarını doğru temsil edecek biçimde uyarlanmıştır. Tüm çözümler FEniCS v.2019.1.0, GMSH ve açık kaynaklı Python kütüphaneleri (NumPy, SciPy) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Kalınlığı $w = 150$ mm, kanat açısı $\alpha = 45^\circ$ olan akustik menfez kesitinde açık alan oranı $OAR \in \{\%30, \%40, \%50\}$ durumları için ekleme kaybı (IL) değerleri hesaplanmıştır. SEY modeli ile 1/3 oktav bantlarında hesaplar yapılmış, ancak üretici firmaların teknik broşürlerinde verilerin çoğunlukla oktav bantlarda raporlanması nedeniyle sonuçlar daha sonra oktav bantlara dönüştürülerek sunulmuştur. Böylece yüksek frekans çözünürlüğü ile elde edilen ayrıntılı veriler, sektör uygulamalarında kullanılan standart raporlama biçimiyle karşılaştırılabilir hale gelmiştir.



Şekil 2. 150 mm kalınlığa sahip bir akustik menfez için %30, %40 ve %50 açık alan oranlarında (OAR) hesaplanan ekleme kaybı (IL) değerlerinin, üretici kataloglarında verilen değerler ile karşılaştırması.

Elde edilen IL eğrileri, üretici kataloglarında [13-16] raporlanan minimum–maksimum değerlerle karşılaştırmalı olarak Şekil 2’de verilmiştir. Şekil, sayısal modelin özellikle merkez frekansı $f_c^b \leq 2000$ Hz olan 1/3 oktav bant üretici verileriyle uyumludur. Yüksek frekanslardaki sapmaların olası nedenleri arasında menfez kanat yüzeyinde oluşan viskoz ve termal sınır tabaka kayıpları ve kanatların olası perfore kaplamalarından kaynaklı ses yutuculuk etkileri olması sayılabilir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, akustik menfezlerin ekleme kaybı (IL) performansını değerlendirmek amacıyla açık kaynak kodlu yazılımlar (FEniCS, GMSH, Python kütüphaneleri) kullanılarak gerçekleştirilen sayısal bir modeli sunmaktadır. Çalışmada yalnızca sonuçlar değil, aynı zamanda gerekli denklemler ve metodolojik adımlar da paylaşılmış, böylece bu tür hesaplamalar için gereken teknik altyapı açık ve erişilebilir biçimde ortaya konmuştur.

Elde edilen SEY sonuçları, çeşitli üretici firmaların teknik broşürlerinden derlenen verilerle kıyaslanmıştır. Piyasada farklı boyutlarda akustik menfezler üretilmekte olup, üretici firmaların sunduğu akustik performans değerleri ISO 7235, ISO 10140-2 veya ASTM E90 standartlarıyla genel olarak uyumludur. Ancak, akustik menfezlerin ses azaltma performansı deklarasyonu üzerine literatürde ve sektörde tam bir fikir birliği bulunmamaktadır. Teknik broşürlerde performans değerleri genellikle ekleme kaybı (IL), iletim kaybı (TL) ya da bazen “gürültü azaltma parametresi” şeklinde ifade edilmektedir. Bu durum hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar açısından karşılaştırma yapmayı güçleştirmektedir.

Bu bağlamda, çalışmamız IL parametresinin menfez performansı temsiliinde tasarım açısından uygun bir ölçüt olduğunu ayrıca göstermektedir.

SEY ile sağlanan yüksek frekans çözünürlüğü sayesinde daha ayrıntılı frekans analizleri yapmak mümkündür. Geleneksel menfez geometrisi sınırlamaları dikkate alındığında ise gelecekte kayda değer iyileştirmeler için serbest biçimli kanat tasarımları SEY tabanlı şekil optimizasyonu yöntemleriyle geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization, Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.
- [2] B. Berglund, T. Lindvall, and D. H. Schwela, Guidelines for Community Noise. Geneva: World Health Organization, 1999.
- [3] C. Hurtley, Ed., Night Noise Guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2009.
- [4] Z. U. R. Farooqi, et al., Types, sources, and control of environmental noise in urban areas: A review, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29, No. 23, pp. 34472–34487, 2022.
- [5] J. Schaffer, et al., Architectural Acoustics and Noise Control. New York: Wiley, 2011.
- [6] ASHRAE, HVAC Applications Handbook. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2015.
- [7] E. Viveiros and P. Davies, Performance of acoustic louvers in buildings, Applied Acoustics, Vol. 63, No. 4, pp. 367–380, 2002.
- [8] M. De Salis, D. Oldham, and S. Sharples, Noise control strategies for naturally ventilated buildings, Building and Environment, Vol. 37, No. 5, pp. 471–484, 2002.
- [9] ASHRAE, Handbook—HVAC Applications. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1991.
- [10] A. Irawan, et al., Characterisation of acoustic louvers with varying geometric parameters, Applied Acoustics, Vol. 200, p. 109123, 2023.
- [11] European Committee for Standardization, EN ISO 14163: Acoustics — Guidelines for Noise Control of Ventilated Equipment. Brussels: CEN, 1999.
- [12] A. D. Pierce, Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications, 3rd Ed. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
- [13] Airwellcare, Technical Brochure: Acoustic Louvers. Accessed: 2025.
- [14] Alara Lukargo, Technical Brochure: Acoustic Louvers. Accessed: 2025.
- [15] Caice, Technical Brochure: Acoustic Louvers. Accessed: 2025.
- [16] Cestaro Bernardo, Technical Brochure: Acoustic Louvers. Accessed: 2025.

PIEZOELEKTRİK DİSKLERİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODAL KARAKTERİZASYONU

Mete Ögüç¹, Cenk Dinçbakır²

¹⁻²İstanbul Atlas Üniversitesi, Kağıthane, İstanbul, Türkiye
e-posta: mete.oguc@atlas.edu.tr, cenk.dincbakir@atlas.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason (HIFU) cihazında kullanılan piezoelektrik halkanın çalışma frekansı ve titreşim davranışı deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile incelenmiştir. Cihaz sökülerek halkanın boyutları belirlenmiş, karşısına yerleştirilen bir piezo disk yardımıyla katalogta verilen 1.8 MHz çalışma frekansı doğrulanmıştır. SEY analizlerinde Pz54 piezoelektrik seramiğine ait malzeme özellikleri katalog verilerinden elde edilmiş, statik kondensasyon yöntemiyle özdeğer problemleri çözülerek mod şekilleri ve doğal frekanslar hesaplanmıştır. Ayrıca frekansa bağlı kompleks admitans spektrumları çıkarılmış ve rezonans tepelerinin mod frekanslarıyla örtüştüğü görülmüştür. Sonuç olarak, deneysel çalışma cihazın çalışma frekansını ortaya koyarken, SEY tabanlı analizler piezoelektrik halkanın titreşim modlarını ve elektriksel yanıtını tanımlamıştır. Bu iki yaklaşım, piezoelektrik seramiklerin değerlendirilmesinde birbirini tamamlayıcı niteliktedir ve HIFU transdüser tasarımları için yol gösterici olma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Akustik ve titreşimler, elektronik, sonlu elemanlar analizi.

MODAL CHARACTERIZATION OF PIEZOELECTRIC DISKS VIA EXPERIMENTS AND FINITE ELEMENT MODELING

ABSTRACT

In this study, the operating frequency and vibration behavior of the piezoelectric ring used in a high-intensity focused ultrasound (HIFU) device were investigated experimentally and by the finite element method (FEM). The device was disassembled to determine the ring dimensions, and the catalog-specified operating frequency of 1.8 MHz was experimentally verified by placing a piezo disk opposite the ring. In FEM analyses, the material properties of Pz54 piezoelectric ceramics were derived from catalog data. Using static condensation, eigenvalue problems were solved by computing mode shapes and natural frequencies. Furthermore, frequency-dependent complex admittance spectra were obtained, showing that resonance peaks overlapped with modal frequencies. As a result, the experimental setup verified the operating frequency and signal characteristics of the piezoelectric ring, while the FEM analyses provided modal frequencies, mode shapes, and complex admittance spectra. These complementary approaches offer insights into the characterization of piezoelectric ceramics and may guide the design of next-generation HIFU transducers.

Keywords: Acoustics and vibrations, electronic, finite element analysis.

1. GİRİŞ

Yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason (HIFU), klinik uygulamalarda termal ablasyon amacıyla kullanılan enerji türlerinden biridir. Radyo frekans akımları, mikrodalgalar, lazer ve termal iletken kaynaklarla kıyaslandığında ultrasonun en önemli avantajları arasında derin dokulara ulaşabilme, küçük dalga boyları sayesinde hedef dokuya daha iyi odaklanabilme ve enerji dağılımının şekil ile konumunun hassas biçimde kontrol edilebilmesi sayılabilir. Ultrasonun dokuları ısıtma özelliği II. Dünya Savaşı sırasında denizaltı sonarlarının balıklar üzerinde oluşturduğu ısı etkiyle fark edilmiş, 1940'lı yıllardan itibaren odaklanmış ultrason dalgalarının ablasyon amacıyla kullanılmasına yönelik araştırmalar başlamıştır [1].

Kurşun zirkonat titanat (PZT) katı çözelti sistemleri 1950'li yıllarda Shirane, Sawaguchi ve Takagi tarafından keşfedilmiş, ardından Jaffe ve Clevite Corporation tarafından transdüser uygulamalarına kazandırılmıştır. Morfotropik faz sınırında (MPB) yer alan kompozisyonları sayesinde yüksek piezoelektrik katsayılar sergileyen bu malzemeler, endüstriyel uygulamaların büyük çoğunluğunda tercih edilmektedir [2,3].

PZT ailesi günümüzde hem “soft” (yumuşak) hem de “hard” (sert) tipleriyle geliştirilmiştir. Yumuşak PZT malzemeler yüksek piezoelektrik katsayılara ve düşük mekanik kalite faktörlerine sahipken, sert PZT malzemeler düşük kayıpları ve yüksek mekanik kalite faktörleri sayesinde yüksek güçlü uygulamalarda kullanılmaktadır [4]. Yumuşak PZT'ler genellikle düşük güçlü ve hassasiyet gerektiren sensör/aktüatör uygulamalarında tercih edilirken, sert PZT'ler denizcilik sonarları, endüstriyel ultrason sistemleri ve günümüzde terapötik ultrason uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Özellikle HIFU cihazlarında yüksek güç taşıma kapasitesi nedeniyle sert tip PZT'ler öne çıkmaktadır. Ancak aynı zamanda elektriksel empedans uyumunun sağlanabilmesi için yüksek dielektrik sabitlerinin de gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yeni malzeme geliştirme çalışmalarında, sert PZT'nin yüksek güç taşıma kapasitesi ile yumuşak PZT'nin yüksek elektrodinamik verimliliğini birleştirme çabaları ön plana çıkmıştır [5].

Son yıllarda yapılan derleme çalışmalarında PZT seramiklerin halen en yaygın kullanılan piezoelektrik malzemeler olduğu vurgulanmakta; yüksek piezoelektrik katsayılar (örneğin $k_{33} > 0.60$, $d_{33} > 200$ pC/N), uygun maliyet ve yüksek Curie sıcaklıkları sayesinde geniş bir uygulama alanı buldukları ifade edilmektedir. Bununla birlikte tıbbi tanı ve hassas imalat teknolojilerindeki artan talepler, yüksek sıcaklık kararlılığına sahip ve geniş kullanım aralıklarında çalışabilen piezoelektrik malzemelere duyulan ihtiyacı artırmaktadır [6]. Ayrıca, PZT tabanlı malzemeler üstün özellikleri sayesinde piyasada hâkim konumda olsa da kurşun içermeleri sebebiyle özellikle Avrupa Birliği'nin Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması (RoHS) yönergesi sonrasında kurşunsuz alternatiflere yönelik araştırmalar hız kazanmıştır [7]. Bu nedenle günümüzde, hem endüstride kullanılan PZT tabanlı malzemeler hem de yeni nesil kurşunsuz piezoelektrik malzemeler araştırma gündeminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), piezoelektrik disklerin elektriksel ve mekanik davranışlarını modellemek için yaygın biçimde kullanılan bir hesaplama aracıdır. Guo [8], Kunkel [9], Perez [10], Bhargava [11], Kar [12] tarafından yapılan çalışmalar, deneysel ölçümlerle birlikte SEY analizlerini kullanarak admitans ve dispersiyon eğrilerinin çıkarılabileceğini göstermiştir. Bu bildiride de benzer bir yaklaşım izlenmiş; HIFU cihazından sökülen piezoelektrik halkanın deneysel karakterizasyonu ile sonlu elemanlar tabanlı analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Piezoelektrik malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan katsayıların tanımları ve işaret konvansiyonları uluslararası alanda standartlaştırılmıştır [13]. Bu çalışmada tüm piezoelektrik katsayıların tanımları IEEE Std. 176-1987 standardı esas alınarak yapılmıştır. Böylece farklı üretici kataloglarından elde edilen parametreler doğrudan karşılaştırılabilir hale gelmiş ve sonlu elemanlar modelinde kullanılmak üzere dönüştürülmüştür. Piezoelektrik malzemeleri için verilen k_{ij} , d_{ij} , g_{ij} gibi katsayılar; elastisite tensörü $\mathbf{C}$, piezoelektrik tensör $\mathbf{e}$ ve dielektrik geçirgenlik tensörü $\mathbf{\kappa}$ arasındaki dönüşüm ilişkileri yardımıyla SEY analizlerinde doğrudan kullanılabilecek Voigt biçimindeki tam tensörlere çevrilmiştir.

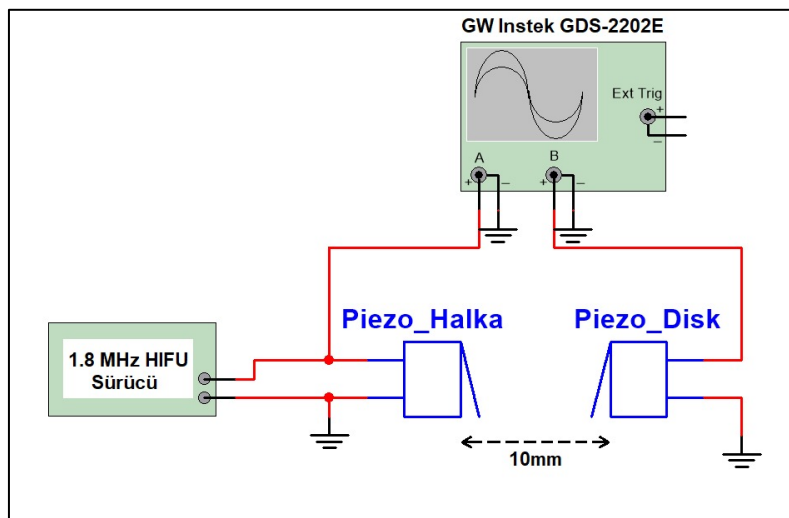
Tablo 1. SEY analizlerinde kullanılan piezoelektrik seramik malzeme özellikleri.

Tip	k_p	k_t	k_{31}	k_{33}	d_{31}	d_{33}	g_{33}
Pz54	0.57	0.48	-0.35	0.70	-200×10^{-12} C/N	440×10^{-12} C/N	20×10^{-3} V m/N

Bu kapsamda literatürde yaygın biçimde kullanılan PZT-5A ve PZT-5H malzemeleri yerine, aynı grupta yer alan ve özellikle HIFU uygulamaları için yüksek güç performansı ile öne çıkan CTS Pz54 seramiği tercih edilmiştir. Pz54, PZT-5H ile benzer elektromekanik bağlaşım katsayıları sergilemekte ve katalog verileri güvenilir biçimde sağlanabilmektedir. Çalışmada kullanılan Pz54'e ait temel parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu parametreler daha sonra IEEE standardındaki dönüşüm kuralları uyarınca elastisite, piezoelektrik ve dielektrik tensörlerine dönüştürülerek sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmıştır.

2.1. Deney düzeneği

YH09 model HIFU & RF cihazı sökülerek incelenmiş ve içerisinde piezoelektrik bir halka bulunduğu belirlenmiştir. Bu halkanın dış çapı 18 mm, iç çapı 12 mm ve kalınlığı 1.2 mm olarak ölçülmüştür. Katalog verilerinde cihazın 1.8 MHz frekansta çalıştığı belirtilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği şematik gösterimi.

Piezoelektrik halkanın katalogda verilen çalışma frekansının doğrulanabilmesi amacıyla, piezo halkanın karşısına 20 mm çapında ve 0.5 mm kalınlığında bir piezoelektrik disk yerleştirilmiş,

iki eleman arasında yaklaşık 10 mm hava boşluğu bırakılmıştır. Bu düzenek, cihazın 1.8 MHz'de çalıştığını doğrulamak ve elde edilen sinyal tipini gözlemlemek için kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde HIFU cihazının kendi sürücüsü kullanılmış ve piezo halka doğrudan bu sürücüden beslenmiştir. Piezoelektrik diskin uçları ile piezo halka uçlarından alınan gerilim sinyalleri dijital osiloskop (GW Instek GDS-2202E) üzerinde eşzamanlı olarak kaydedilmiştir.

2.2. Sonlu elemanlar yöntemi

Bu çalışmada piezoelektrik malzemenin titreşim davranışını incelemek üzere elektro-mekanik alanların doğrusal olarak bağlandığı üç boyutlu bir model kurulmuştur. Mekanik denge için momentum denklemi, elektrostatik alan için ise Gauss yasası esas alınmıştır. Malzeme davranışı doğrusal piezoelektrik malzeme varsayımı altında tanımlanmış, gerilme-gerinim ilişkisi, elektrik alan ve elektrik yer değiştirme alanı arasındaki bağ kurularak ifade edilmiştir.

Piezoelektrik malzemeler için kurucu bağıntılar σ Cauchy gerilme tensörü, $\mathbf{D}$ elektrik yer değiştirme vektörü, $\mathbf{C}$ elastisite tensörü, $\mathbf{e}$ piezoelektrik tensör, κ dielektrik geçirgenlik tensörü, ϵ simetrik yer değiştirme gradyanından elde edilen gerinim tensörü ve $\mathbf{E} = -\nabla\phi$ elektrik alan vektörü olacak biçimde aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{aligned}\sigma &= \mathbf{C} : \epsilon - \mathbf{e} \cdot \mathbf{E}, \\ \mathbf{D} &= \mathbf{e}^T : \epsilon + \kappa \cdot \mathbf{E}.\end{aligned}\tag{1}$$

Daha sonra elektriksel serbestlik derecelerinin statik kondensasyonu yapılmış ve yalnızca mekanik yer değiştirme alanı üzerinden özdeğer problemi çözülmüştür. Elde edilen zayıf form denklemi,

$$\int_{\Omega} (\mathbf{C}_{\text{eff}} : \nabla^s \mathbf{u}) : \nabla^s \mathbf{v} \, d\Omega = \omega^2 \int_{\Omega} \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} \, d\Omega,\tag{2}$$

$\mathbf{C}_{\text{eff}}$ statik kondensasyon sonrası elde edilen etkin elastisite tensörü, ρ yoğunluk, $\mathbf{u}$ yer değiştirme vektörü, ω açısal frekans olacak biçimde ifade edilir.

Bu özdeğer problemine ilişkin yaklaşım, Allik ve Hughes'un klasik çalışmasında detaylandırılmış olan piezoelektrik sonlu eleman formülasyonuna dayanmaktadır [14].

Piezoelektrik disklerin elektriksel karakterizasyonunda ayrıca en yaygın yöntemlerden biri frekansa bağlı empedans/admitans analizidir. Bu yaklaşımda piezoelektrik eleman, uçlarına uygulanan alternatif gerilime karşılık üretilen elektriksel yük üzerinden modellenir. Üst elektrot yüzeyinde serbest yük

$$Q(\omega) = \int_{\Gamma} \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \, d\Gamma\tag{3}$$

ifadesiyle hesaplanırken, uygulanan gerilim $V = 1$ V seçildiğinde kompleks admitans doğrudan

$$Y(\omega) = i\omega Q(\omega)\tag{4}$$

olarak tanımlanır. Böylece rezonans ve anti-rezonans frekansları frekansa bağlı admitans eğrisinden elde edilebilmektedir.

Bu analizlerde kullanılan sonlu eleman formülasyonu, elastik, piezoelektrik ve dielektrik katkıları içeren genel çift doğrusal formun kütle katkısı ile birlikte çözülmesine dayanmaktadır. Bu, kısaca şu şekilde ifade edilebilir:

$$a(\mathbf{u}, \phi; \mathbf{v}, \psi) - \omega^2 m(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = 0. \quad (5)$$

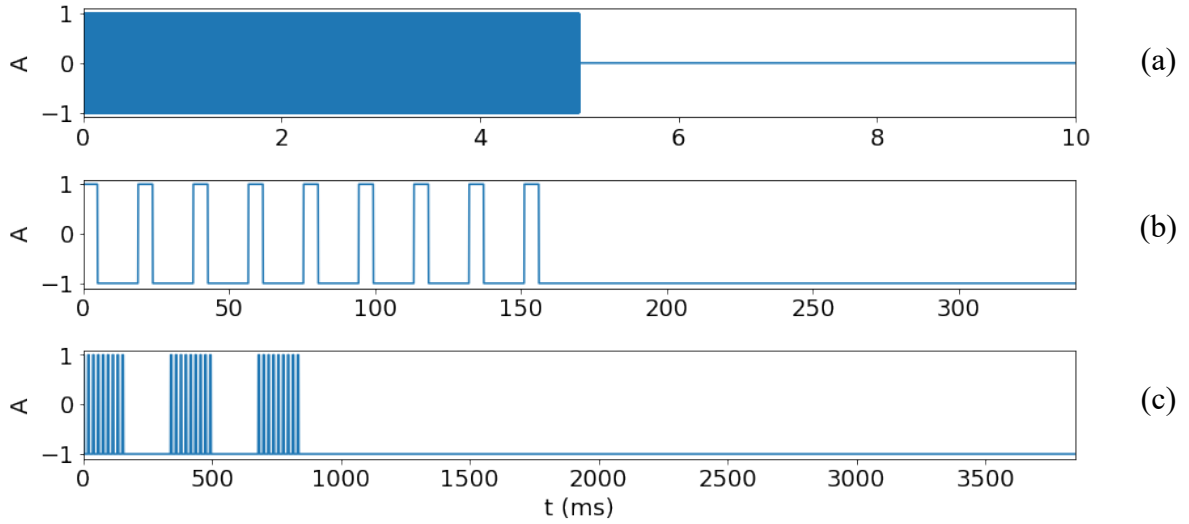
Burada $a(\mathbf{u}, \phi; \mathbf{v}, \psi)$ elastik, piezoelektrik ve dielektrik katkıları; $m(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ ise kütle katkısını tanımlayan çift doğrusal formları göstermektedir.

Bu yöntem ilk olarak Kagawa ve arkadaşları tarafından 1970'li yıllarda empedans spektroskopisine yönelik sonlu elemanlar uygulamaları ile tanıtılmıştır [15]. Daha sonra Guo'nun çalışması [16], dairesel piezodiskler için frekans-admitans karakteristiklerinin hem deneysel hem de SEY tabanlı çözümlerle karşılaştırılabileceğini göstermiştir.

Analizler, FEniCS v.2019.1.0 ortamında Jupyter Notebook üzerinden, 64 GB RAM'e ve Intel(R) Core(TM) Ultra 7 255HX (2.40 GHz) işlemciye sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

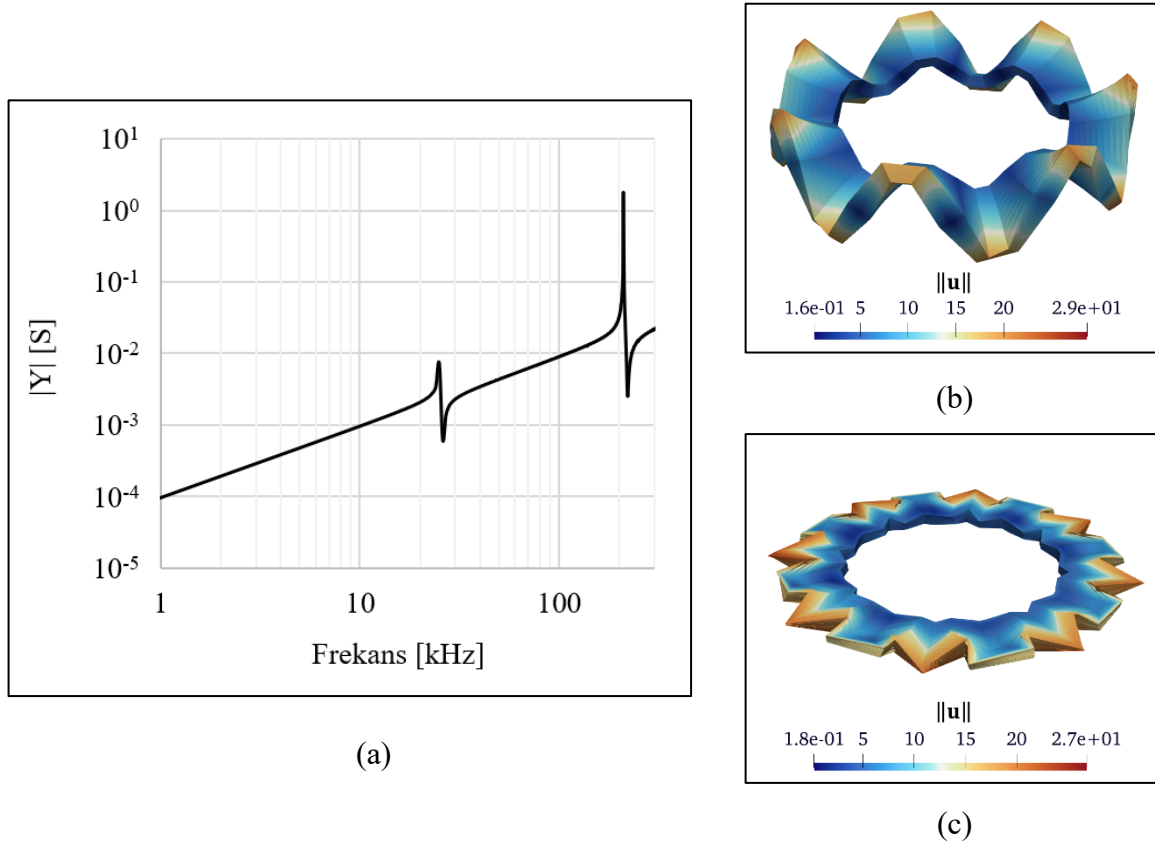
HIFU cihazı sökülerek elde edilen piezoelektrik halkanın çalışma frekansı deneysel olarak doğrulanmıştır. Karşılıklı yerleştirilen disk ve halka düzeneğinde gözlemlenen sinyal, cihazın dalga üretim mantığını da açık biçimde ortaya koymaktadır. Şekil 2'de verilen sonuçlarda yatay eksen zamanı, dikey eksen ise normalize genlik (A) değerini göstermektedir.



Şekil 2. HIFU cihazı tarafından üretilen darbeleri sinyalin zamana bağlı değişimi.

Şekil 2(a)'da tek bir darbe yuvası gösterilmiştir. Bu darbe 1.8 MHz taşıyıcı frekansta üretilmekte ve yaklaşık 5 ms sürmektedir. Şekil 2(b)'de, 34 ms'lik bir grup içinde yer alan dokuz darbe yuvası gözlemlenmektedir. Bu durumda darbeler 170 ms boyunca devam etmekte, ardından 170 ms süreyle sessizlik meydana gelmektedir. Şekil 2(c)'de ise 3.85 s'lik tam bir paket sunulmuştur. Bu paket üç grup darbelerden oluşmakta ve sonrasında uzun bir sessizlik periyodu gelmektedir. Bu yapı, cihazın HIFU uygulamalarında kullanılan karakteristik darbe

trenini göstermektedir. Dijital osiloskop ile cihazın katalogda belirtilen 1.8 MHz frekansta çalıştığı doğrulanmış, üretilen sinyal tipinin ise darbeli paket yapısına sahip olduğunu ortaya konmuştur.



Şekil 3. Sonlu elemanlar analizi sonuçları: (a) Pz54 piezoelektrik halkanın frekansa bağlı admitans spektrumu. (b) 24.4 kHz’de elde edilen mod şekli. (c) 209 kHz’de elde edilen mod şekli.

Sonlu elemanlar analizleri sonucunda piezoelektrik halkanın frekansa bağlı elektriksel davranışı ve titreşim modları elde edilmiştir. Şekil 3(a)’da SEY modeli ile elde edilen frekans–admitans eğrisi verilmiştir. Bu grafikte rezonans ve anti-rezonans noktaları açık biçimde gözlenmektedir. Özdeğer analizleri sonucunda piezoelektrik halkanın elektriksel davranışı ile tam olarak örtüşen frekans değerlerinde titreşim modları bulunmuştur. Elde edilen mod şekilleri incelenmiş ve disk üzerinde karakteristik titreşim desenleri belirlenmiştir. Şekil 3(b) ve Şekil 3(c)’de sırasıyla yaklaşık 24.4 kHz ve 209 kHz frekanslarında elde edilen bu mod şekilleri gösterilmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason (HIFU) cihazında kullanılan piezoelektrik halkanın deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. İlk olarak cihaz sökülerek iç yapısında yer alan piezoelektrik halkanın boyutları belirlenmiş, ardından karşılıklı yerleştirilen piezoelektrik diskler yardımıyla cihazın katalogda belirtilen 1.8 MHz çalışma frekansı deneysel olarak doğrulanmıştır. Bu düzenek sayesinde HIFU cihazının ürettiği sinyal tipinin de gözlemlenmesi mümkün olmuştur.

SEY analizleri kapsamında Pz54 piezoelektrik seramiğine ait malzeme özellikleri katalog verilerinden ve standart dönüşüm bağıntılarından elde edilmiştir. Statik kondensasyon yöntemi kullanılarak özdeğer problemleri çözülmüş, farklı frekanslarda mod şekilleri hesaplanmıştır. Ayrıca, frekansa bağlı kompleks admitans spektrumlarının sayısal olarak elde edilmesiyle literatürde yaygın biçimde kullanılan deneysel eğrilerle karşılaştırılabilir sonuçların üretilebileceği görülmüştür. Analizler, piezoelektrik halkanın belirli modlarında ortaya çıkan karakteristik deformasyon biçimlerini de ortaya koymuştur.

Bu çalışma kapsamında ayrıca admitans ölçümleri için ikinci bir deney düzeneği planlanmaktadır. Yapılacak frekans taramaları ile piezoelektrik halkanın rezonans ve anti-rezonans frekansları doğrudan deneysel olarak belirlenecektir. Böylece, literatürde FRA tabanlı yöntemlerle elde edilen veriler fonksiyon jeneratörü, dijital osiloskop ve yazılım tabanlı sayısal işleme teknikleri ile yeniden üretilecektir.

Elde edilen SEY sonuçları neticesinde, literatürde sıklıkla görüldüğü üzere yarıçap/kalınlık oranı üzerinden dağılım (dispersion) grafiklerinin çıkarılabileceği anlaşılmıştır. Farklı boyutlardaki piezoelektrik disklerin tasarım ve optimizasyon süreçlerinde doğrudan karşılaştırma yapmak böylece mümkün olacaktır.

Sonuç olarak, deneysel bulgular ve SEY analizleri birbirini tamamlayan nitelikte olup, HIFU cihazında kullanılan piezoelektrik halkanın hem çalışma frekansı hem de titreşim modları başarıyla ortaya konmuştur. Çalışmanın devamında yapılacak admitans ölçümleri ile sayısal ve deneysel spektrumların karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bu yaklaşımın, farklı piezoelektrik seramiklerin karşılaştırılmasında ve yeni nesil HIFU transdüserlerinin tasarımında yol gösterici olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Z. Izadifar, Z. Izadifar, D. Chapman, and P. Babyn, An introduction to high intensity focused ultrasound: systematic review on principles, devices, and clinical applications, *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 9, No. 2, pp. 460, 2020.
- [2] E. Sawaguchi, S. Nomura, and S. I. Kawada, Phase transition in lead zirconate, *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol. 8, No. 5, pp. 615–629, 1953.
- [3] B. Jaffe, R. S. Roth, and S. Marzullo, Piezoelectric properties of lead zirconate-lead titanate solid-solution ceramics, *Journal of Applied Physics*, Vol. 25, No. 6, pp. 809–810, 1954.
- [4] B. Jaffe, W. R. Cook, and H. Jaffe, *Piezoelectric Ceramics*. London: Academic Press, 1971.
- [5] W. Wolny, Development of piezoceramics, *Archives of Acoustics*, Vol. 30, No. 4, pp. 397–404, 2005.
- [6] X. Zhou, S. Wu, X. Wang, Z. Wang, Q. Zhu, J. Sun, P. Huang, X. Wang, W. Huang, and Q. Lu, Review on piezoelectric actuators: materials, classifications, applications, and recent trends, *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 6, 2024.
- [7] Li, J. F., *Lead-free piezoelectric materials*, John Wiley & Sons, (2020).
- [8] Y. Guo, Measurement and prediction of the impedance of piezoelectric disks, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 87, No. 4, pp. 1631–1637, 1990.
- [9] R. Kunkel, et al., Finite element analysis of piezoelectric disks, *Ultrasonics*, Vol. 44, pp. e1065–e1069, 2006.

- [10] R. Perez, et al., Experimental and numerical study of piezoelectric disks, *Journal of Electroceramics*, Vol. 19, pp. 413–419, 2007.
- [11] Bhargava, et al., Modeling of piezoelectric transducers using finite element analysis, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 54, No. 8, pp. 1741–1748, 2007.
- [12] N. Kar and A. Dasgupta, Finite element analysis of circular piezoelectric disks, *Journal of Applied Physics*, Vol. 103, No. 7, pp. 074108, 2008.
- [13] IEEE Standard on Piezoelectricity, ANSI/IEEE Std. 176-1987, IEEE, New York, 1987.
- [14] Allik, H., & Hughes, T. J., Finite element method for piezoelectric vibration, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 151-157, 1970.
- [15] Kagawa, Y., Yamabuchi, T., Finite Element Approach for a Piezoelectric Circular Rod, *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, Vol. 23, No. 6, pp. 379-385, 1976.
- [16] Guo, N., Lim, M. K., Vibration characteristics of piezoelectric discs with elastic additions, *Ferroelectrics*, Vol. 160, No. 1, pp. 9-21, 1994.



16. ULUSAL AKUSTİK KONGRESİ VE SERGİSİ

Türk Akustik Derneği tarafından düzenlenen 16. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, yapı ve hacim akustiği, gürültü kontrolü, akustik ölçümler, ses yükü, akustik konfor, işitsel peyzaj, sürdürülebilirlik ve işitme sağlığı gibi ana başlıklarda geniş bir katılımla 6-7 Kasım 2025 tarihlerinde Kadir Has Üniversitesi ev sahipliğinde gerçekleştirilmiştir.

“İşleyen Sesler” teması kapsamında, iş yerlerinde sürdürülebilir akustik çözümler geliştirmenin yalnızca gürültüyü azaltmakla sınırlı olmadığı; çalışan konforu, işitsel refah ve mekânsal eşitliği gözeten tasarım yaklaşımlarına ilişkin güncel konular ele alınmıştır. Kongre programına dahil edilen tüm bildiri tam metinleri 16. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı’nda yer almaktadır.

Kongrenin gerçekleştirilmesine katkı sağlayan sponsorlarımıza ve sergi katılımcılarımıza teşekkür ederiz.
